

СБОРНИК

**ДОКЛАДИ
ОТ МЕЖДУНАРОДНА НАУЧНА
КОНФЕРЕНЦИЯ
„РАДИАЦИОННАТА БЕЗОПАСНОСТ
В СЪВРЕМЕННИЯ СВЯТ“
16-18 ноември 2022 година**

**Посветена на 170 годишнината от рождението на
Анри Бекерел**

Том 1

**Велико Търново
2022 г.**

Целите и тематиката на конференцията са изцяло в рамките на обявената от ООН Международна година на фундаменталните науки за устойчиво развитие (МГФНУР) за периода от 01.07.2022 г. до 30.06.2023 г. (<https://www.iybssd2022.org/en/home/>), като тя е част от събитията, включени в Националния план за отбелязване на МГФНУР.



Конференцията се съфинансира от Фонд „Научни изследвания“ към Министерството на образованието и науката на Република България с договор № КП-06-МНФ/19 от 14.11.2022 г.

Издателски комплекс на НВУ „Васил Левски“

ISSN 2738-7607 Print

ISSN 2603-4689 CD

ОРГАНИЗАЦИОНЕН КОМИТЕТ

Председател: Доц. д-р инж. Николай Тодоров Долчинков – НВУ „Васил Левски“

Членове:

1. Бригаден генерал Иван Маламов НВУ „Васил Левски“;
2. Проф. дхн инж. Михаил Стефанов Харалампиев – НВУ „Васил Левски“;
3. Полк. доц. д-р инж. Румен Маринов – НВУ „Васил Левски“;
4. Подп. д-р Николай Илианов Пъдарев – НВУ „Васил Левски“;
5. Подп. доц. Д-р Борислав Косев Димитров – НВУ „Васил Левски“;
6. Проф. дфн Александър Драйшу – СУ „Св. Климент Охридски“,
Председател на СФБ;
7. Проф дфн Ана Георгиева, БАН – Зам. Председател на СФБ;
8. Доц. д-р Младен Митев – ИЯИЯЕ – БАН, Председател на БЯД;
9. Capt. Cdr. Assoc. Prof. Eng., PhD Cristian-Emil Moldoveanu –
Military Technical Academy "Ferdinand I", Romania;
10. Доц. дтн Ольга Евгеньевна Кондратьева – Национальный
исследовательский университет „МЕИ“, Москва, Россия;
11. Ст. преп. ктн Дмитрий Бурдюков – Национальный
исследовательский университет „МЕИ“, Москва, Россия;
12. Associate Professor Ērika Teirumnieka – Rēzeknes Tehnoloģiju
akadēmija, Rēzekne, Latvija;
13. Проф д-р Любомир Лазов – Rēzeknes Tehnoloģiju akadēmija,
Rēzekne, Latvija;
14. Prof. Vesela Radovic – University of Belgrade, Serbia;
15. Inga Zinicovscaia – Head of the Sector of Neutron Activation Analysis
and Applied Research, Joint Institute of Nuclear Research, Dubna, Russia; Horia
Hulubei National Institute for Physics and Nuclear Engineering (IFIN-HH),
Bucharest - Magurele, Romania;
16. Associate Professor Tamar Dolbaia – Tbilisi State University,
Georgia;
17. Associate Professor Nino Durglishvili – Tbilisi State University,
Georgia;
18. Col Mariusz Gontarczyk, PhD, MSc., Eng. –Military University of
Technology, Warsaw, Poland;

19. Чл. кореспондент Олег Юрьевич Латышев-Майский – президент Международной Мариинской академии;

20. Проф. ктн Маруфджан Мусаев – Ташкентски държавен технически университет, Узбекистан;

21. PhD., associate Professor, Algazy Zhauyt, Almaty University of Power Engineering and Telecommunications, Kazakhstan;

22. Doctor of Science in Environmental Safety, Sergij Vambol, Kharkiv Petro Vasylenko National Technical University of Agriculture, Kharkiv, Ukraine;

23. Doctor of Science in Environmental Safety, Viola Vambol, University of Life Sciences in Lublin, Lublin, Poland, Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic National University, Ukraine;

24. Associate professor, PhD, Maglyovana Tatyana, Cherkasy Institute of Fire Safety named after the Heroes of Chernobyl of the National University of Civil Protection of Ukraine, Faculty of Operational Rescue Forces, Ukraine;

25. Associate professor, PhD Tatiana Paramonova, Moscow Lomonosov University, Russia;

26. Col Professor Alexandru Herciu, Sc.D., „CAROL Ist” National Defense University, Romania;

27. CPT Tomas Rozsypal, PhD, Nuclear, Biological and Chemical Defence Institute, University of Defence, Vita Nejedleho 1, Vyskov 682 01, Czech Republic;

28. Prof. dr Gilbert-Rainer Gillich, University Babes-Bolyai, Romania.

С Ъ Д Ъ Р Ж А Н И Е

1.	Слово на бригаден генерал Иван Маламов при откриване на научната конференция	7
2.	Поздравителни адреси	10
3.	Sergij Vambol, Viola Vambol, Sergiy Yeremenko, Volodymyr Sydorenko, Nadeem Ahmad Khan Forecasting the release of radioactive combustion products from the forest fire zone	15
4.	Mykola Kundenko, Sergij Vambol, Oleksandr Trush, Niloofar Mozaffari, Nastaran Mozaffari Ecologically safe acoustic technology for influencing animal micro-objects (sperms, embryos)	24
5.	Tomas Rozsypal Field gas chromatographic identification of adamsite: derivatization by aliphatic thiols	31
6.	Tetiana Mahlovana Use of earth remote sensing data for assessing environmental risks under military actions	42
7.	Ondrej Kares, Tomas Rozsypal Fate of nerve agent VX in urban matrices: a review	50
8.	Хасанова Ойдин Ташпулатовна, Темурхон Лутфуллаев Абдумажидхон Оценка агрессивности засоленности грунтов. Оценка и меры защиты от агрессивного воздействия грунтов и воздушной среды на строительные конструкции зданий	60
9.	Анета Мишева Психологични кризисни интервенции след наводненията в Карловско – споделена практика	67
10.	Лъчезар Филчев Модел на разпространение на природни (естествени) и техногенни (изкуствени) радионуклиди в почвите на водосборния басейн на р. Тайна	76
11.	Йордан Щерев, Никола Цуцумански Кибер сигурност с Kali Linux	85
12.	Йордан Щерев, Калоян Колев 4G И 5G мобилни клетки в град Велико Търново	96
13.	Adelina Miteva Effect of radiation on spacecraft materials	105
14.	Adelina Miteva The use of radiation in the food industry and agriculture	112
15.	Сезгин Хасан, Мирем Ниязи-Юсуф Допустими дози на йонизиращите лъчения в България	119

16. Нина Паскалева, Мирослав Кацаров	127
Държавна политика в областта на осигуряването на ядрена и радиационна безопасност на Руската федерация	
17. Еда Закир, Деян Иванов	137
Защита на населението при опасност от радиационна авария	
18. Грибан В.Г., Фоменко А.Е., Скрипченко И.Т., Мельников В.Л.	145
Безопасные условия и инновационные методы обучения будущих специалистов в высших учебных заведениях	
19. Грибан В. Г., Скрипченко И. Т., Чупірко К.	154
Биологични последствия от Чернобилската катастрофа	
20. Борислав Димитров	157
Тенденции в развитието на мобилните аналитични системи	
21. Мария Нешева	165
Използване на неутрони и радиоизотопи в медицинската диагностика и лечение	
22. Ивета Белберова	177
Съвременно състояние на дозиметричния контрол и основни типове прибори	
23. Добромир Георгиев	184
Ядрени реакции и използването им във военното дело	
24. Антони Йотов	190
Термоядрен синтез и неговото използване в човешката дейност	
25. Мария Ангелова	198
Строеж на атома и радиоактивност	

**Слово на бригаден генерал Иван Маламов – началник на
НВУ „Васил Левски“ при откриване на научната
конференция „Радиационна безопасност в съвременния свят“**

Уважаеми дами и господа – участници и гости на седмата международна научна конференция „Радиационна безопасност в съвременния свят“, посветена на 170 годишнината от годишнината от рождението на Анри Бекерел.

Френският физик Антоан Анри Бекерел е роден на 15 декември 1852 г. в Париж. Дядо му Антоан и баща му Александър са известни учени, професори по физика в Националния Музей по естествена история в Париж и членове на Френската академия на науките. По-късно и неговият син Жан става физик, което прави общо 4 поколения учени. Той е откривател на естествената радиоактивност и носител на Нобелова награда за физика за 1903 година.

От 1876 преподава в Политехническото училище, а през следващата година е назначен в Националното управление на мостовете и пътищата. От 1878 Бекерел е асистент на баща си в Националния Музей по естествена история. През 1882 завършва изследванията си върху линейната поляризация на светлината и продължава работата на баща си върху фосфоресценцията. През 1888 година защитава докторат в Парижкия университет върху абсорбцията на светлината в кристали. През 1892, една година след смъртта на баща му, Бекерел заема неговото професорско място, като оглавява катедрата по физика в Националния Музей по естествена история в Париж, като така става трети поред от едно и също семейство на поста.

Съдбата на всеки един от нас е различна и всички сме подложени да преживеем много неща. Освен присъщите на всяко човешко същество събития в личния живот и професионална дейност, всички ние се намираме във водовъртежа на поредица от исторически събития, някои от които епохални. В началото на третото десетилетие от технологичния 21-ви век, днес ние преживяваме поредното събитие, носещо белега на катаклизъм. След пандемията, свързана с разпространението на вируса КОВИД– 19, която вече 3 години е обхванала света и човечеството все още не може да намери адекватни мерки за ограничаването и лечението ѝ, от февруари тази

година в близост до България се водят кръвопроливни военни действия с десетки и може би стотици хиляди убити и ранени. Тези военни действия се водят и в непосредствена близост до ядрени обекти, което предизвиква тревога в човечеството за да не се предизвика и използване на ядрени арсенали, което ще бъде пагубно за хората.

Само 9 години след края на Втората световна война – на 27 юни 1954 год., в град Обнинск на тогава съществуващата държава СССР, се открива първата в света Атомна електрическа централа. Много бързо ядрената индустрия намери своето място в развитието на световната икономика. Но едновременно с положителното въздействие на използването на ядрената енергия жителите на нашата планета се сблъскаха и с 2 големи радиационни аварии –Чернобил 1986 година и Фукушима 2011 година и допуснатите пропуски и последствията от тях накараха хората да се замислят за безопасното използване на ядрената енергия. След период на отричане на ядрената енергия и действащата в момента световна енергийна, ценова и икономическа криза започна преосмисляне на отношението към ядрената енергия. Според последните индикации на Европейските и световни организации се заговори за приобщаване на ядрената енергия към зелените енергии, което беше потвърдено и от решенията на много страни да развият ядрената енергетика.

Уважаеми колеги,

Позволете ми, да поздравя с „Добре дошли!“ всички вас – участниците в настоящия форум „Радиационна безопасност в съвременния свят“, както и организаторите на това събитие, което е част от нашия годишен календар! Въпреки трудностите през последните 2 години ние не прекъснахме провеждането му и дори с всяка година разширяваме кръга на участниците в него и използвахме възможностите за неприсъственото му провеждане. Като ректор на университет съм радостен, че потребността да се споделят и обогатяват знание и опит обединява съмишленици! Темата на форума е много актуална и кореспондира с предизвикателствата на ежедневието ни, а надсловът ни прави съпричастни към усилията на посъзидателната част от човечеството и научната общност у нас. Възможността за изява и обмен на актуална информация и идеи именно тук, в Националния военен университет „Васил Левски“, приемаме като привилегия. Тук работят хора, за които проблемите на радиационната сигурност представляват професионален и творчески интерес.

Уверявам ви, че настоящият форум няма да остане последният по рода си, за нашия Университет! Той вече се е утвърдил, като едно от събитията с подобна тематика в национален мащаб и ще разширим признаването му и в международен мащаб. Вече влизаме и в плановете на университети, научни организации и наукометрични индикатори и ще се стремим да отговорим на изискванията на времето. Присъствието на Вас, уважаеми гости и участници и признание за работата на нашия университет.

Чувствайте се тук, като у дома си. Винаги сте добре дошли и знайте, че при нас винаги ще намирате съмишленици и експерти!

Пожелавам успех в изявите и ползотворна работа!

Откривам научният форум „Радиационна безопасност в съвременния свят”, посветена на 170 годишнината от рождението на Анри Бекерел.

На добър час!

Dear colleagues,

I would like to welcome all of you, the participants in today's forum Radiation Safety in the Modern World, as well as the organizers of this event which is part of our annual calendar of scientific events. As the rector of the university, I am glad that the need to share and enrich knowledge and experience unites like-minded people! The topic of the forum is a hot topic corresponding to the challenges of our daily lives, and the title we have chosen shows we are committed to the efforts of the more creative part of humanity and the scientific community in our country. We accept as a privilege the opportunity to present and exchange up-to-date information and ideas here, at Vasil Levski National Military University. For some of the people who work here the problems of radiation safety present a professional and research interest.

I assure you that this forum will not be the last of this kind for our University! It has already established itself as one of the national scale events on a topic of such importance.

Feel at home here! You are always welcome and can be sure that you will always find like-minded people and experts with us!

I wish you success and fruitful work on the forum!

I open the scientific forum Radiation Safety in the Modern World, dedicated to the 170th anniversary of the birth of Anry Bekerel.

Good luck



Univerzita obrany
Ústav ochrany proti zbraním hromadného ničení
Víta Nejedlého, 682 01 Vyškov

GREETING ADDRESS

On behalf of Nuclear, Biological and Chemical Defence Institute of the University of Defence, Czech Republic, I welcome all participants of the scientific forum „Radiation Safety in the Modern World“

The security situation in the world is surprisingly not stable in the 21st century and the humanity is exposed to unexpected challenges that affect each of us. Chemical and radioactive substances are wonderful helpers and a great result of human progress. Although they are supportive, on the other hand, they can be very dangerous, in the event of accidents or deliberate misuse. Therefore, it is very important to organize conferences of this type, where we, scientists, can participate in promoting world security and safety.

This year I had the opportunity to visit Vasil Levski National Military University and the beautiful city of Veliko Tamovo as part of the Erasmus+ Staff Teaching Mobility program. I am very glad that I had the possibility to exchange experience and knowledge in the field of chemical protection with my Bulgarian colleagues. Unfortunately, I cannot attend the conference in person. I congratulate all contributors on their work, I wish everyone present a fruitful discussion, gain new perspectives and contacts, as well as great time in the venue city.

CPT Tomáš ROZSYPAL,
PhD

Assistant Professor
in Protection Section
Professor Chemical and Radiatioprotection
Section Nuclear, Biological and Chemical
Defence Institute
University of Defence
Czech Republic



Федеральное государственное
бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Национальный исследовательский
университет «МЭИ» (ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»)
111250, г. Москва,
вн. тер. г. муниципальный округ Лефортово,
ул. Красноказарменная, д. 14, стр. 1
Тел.: (495) 362-75-60, факс: (495) 362-89-38
E-mail: universe@mpei.ac.ru
<https://mpei.ru>

GREETING ADDRESS

On behalf of the National Research University "Moscow Power Engineering Institute" and the Department of Environmental Engineering and Occupational Safety, I welcome the participants of the scientific conference "Radiation Safety in the modern world".

Despite the current situation in the world, radiation safety issues remain very important. More and more researchers around the world are engaged in research in the field of radiation protection and assessment of potential risks of various diseases.

Of particular relevance is the direction related to the elimination of nuclear heritage and the management of nuclear waste. It should be noted that the radiation protection and safety system is being improved every year, both at the international and national levels.

I am sure that at this conference each of the participants will be able to highlight new moments and aspects that were not known to them, before.

Associate Professor
Dept. of Environmental Engineering
and Occupational Safety
National Research University "MPEI"

Oleg A. Loktionov



INTERNATIONAL MARIINSKAYA ACADEMY named after M.D. SHAPOVALENKO
(Establishment of the International Telecommunication Educational Project
"Mariinskaya Gallery named after Maria Shapovalenko", NGO "Information for all")
Russia, 121096, Moscow, POB 44. fb.me/IMA888 <https://twitter.com/papa8883> www.ifap.ru
+7 (918) 443-00-43, +7 (988) 955-61-32, +7 (928) 434-20-84. papa888@list.ru, latyshev-1970@inbox.ru

Allis inserviando consumor!
Dr. Tulpus.

GREETING ADDRESS

Dear organizers and participants of the international scientific conference RADIATION SAFETY IN THE MODERN WORLD 2022 – Veliko Tarnovo! Let me, on behalf of the staff of the International Mariinskaya Academy named after M. D. Shapovalenko, express to you a feeling of sincere gratitude for the invitation to participate in your venerable scientific event!

We sincerely wish you a successful holding of such an important forum, a peaceful sky, good health and a truly safe environment!

President of IMA&PH-IMA, Professor and member of expert council of RANH, ScD h.c. of IANH, PhD in Philology, Academician of IAST, UANH, IANH, IAYTLH, Corresponding Member of IAPS, Emeritus member of ISAC at the ISA, Honored Worker of Science, Technics and Education

Vice-President and Academician-secretary (head) of the department of Kingdom of Saudi Arabia of IMA, Associate Professor of Department of Biology of Imam Abdul Rahman bin Faisal University (Dammam, Saudi Arabia)

Chief Scientific Secretary and Academician-secretary (head) of the Department of Psychology of IMA, Prof., Dr., Professor of Psychological Counseling, Department of Psychology, Faculty of Education, King Khalid University, and Psychology Department, Faculty of Arts, Zagazig University

HR-manager of IMA&PH-IMA, Academician-secretary of the department of «ANTHROPOLOGY» (54), Ph.D. in History and Philosophy of Science, Centro de Filosofia da Ciência, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Portugal

Director of the Publishing House, academician-secretary of the department of «SOCIOLOGY» (04) and Academician of the department of «PHILOSOPHY» (02) of IMA, Doctor of Philosophy in Medicine, clinical researcher of the Department of Forensic science of Jordan University of Science and Technology (Irbid, Jordan)

Deputy Director of the Publishing House, Academician-secretary of the department of «MECHANICS» (30) of IMA, Professor (Associate) of the Department of Mechanics of Todor Kableshev Higher School of Transport (Sofia, Bulgaria)

Deputy Director of the Publishing House, Corresponding member of the department of «Biochemistry» (32) of IMA, Ph.D of the Department of Biochemistry of University Of Kufa (Najaf, Iraq)



O.Yu. Latyshev

G.A. Ibrahim

B.I.A. Arnout

J.C.B. Tiago de Oliveira

A.J. Al-Khatib

A.I. Ivanov

Sh.M.H.H. Mubarak

2022.11.02. Reg. №: 1037-2022.



СЪЮЗ НА ФИЗИЦИТЕ В БЪЛГАРИЯ
УПРАВИТЕЛЕН СЪВЕТ
1164 София, бул. „Джеймс Баучер“ 5

ДО: БРИГАДЕН ГЕНЕРАЛ ИВАН МАЛАМОВ
НАЧАЛНИК НА НАЦИОНАЛЕН ВОЕНЕН УНИВЕРСИТЕТ
„ВАСИЛ ЛЕВСКИ“



По повод: НАУЧЕН ФОРУМ НА ТЕМА:

***„Радиационната безопасност
в съвременния свят“***

Национален военен университет (НВУ) „Васил Левски“
Велико Търново, 16, 17 и 18 ноември 2022 г.

посветена на 170-годишнината от рождението на Анри Бекерел

УВАЖАЕМИ БРИГАДЕН ГЕНЕРАЛ ИВАН МАЛАМОВ,

УВАЖАЕМИ ОРГАНИЗАТОРИ, УЧАСТНИЦИ И ГОСТИ,

Особено ми е приятно от името на Съюза на физиците в България (СФБ) и лично от свое име да Ви приветствам по случай провеждането на **седмия Научен форум с международно участие на тема: „Радиационната безопасност в съвременния свят“**.

Основната цел на конференцията е да се предоставят възможности на кадрите от изследователски звена и институти и академичния състав на цивилни и военни висши учебни заведения от страната и чужбина за апробация на извършени научни изследвания, новости, рационализации и открития и обмен на идеи в научните области, свързани със сигурността, отбраната, инженерните и информационните технологии в областта на ядрените технологии. Също така форумът дава възможност за задълбочаване на сътрудничеството между различните организации чрез създаване на съвместни международни екипи и разработване на единни програми за обучение на различните категории обучаеми. Тези цели са и сред основните цели на СФБ. Една от гаранциите за тяхното постигане е обмяната на знания и идеи, повишаване на квалификацията на кадрите и активен диалог с българското общество, което ние осъществяваме чрез вече установеното ползотворно сътрудничество с Вашия университет.

Тематични направления на форума са свързани с всички актуални проблеми на научните изследвания и обучението в областта на многостранните начини за използване на ядрените технологии в полза на човешкия живот. **Ядрените технологии** използват различните реакции на атомните ядра (α , β и γ -разпад, ядрено делене и сливане). Те намират широки приложения в разработването на технологии, които съществено влияят на развитието на икономиката и качеството на живот в съвременното общество. Съзнавайки отговорността си в това отношение, учените от самото начало се занимават и с

проблемите на радиационната безопасност, и със защитата на здравето на населението.

В този аспект е особено важно и *посвещаването на конференцията на 170-годишнината от рождението на Анри Бекерел (1852 - 1908)*, световно известен физик, който открива спонтанната радиоактивност през 1896 г. Това му донася през 1903 г. удостояването с Нобелова награда за физика, споделена с Пиер и Мария Кюри за техните открития, свързани с неговите радиационни изследвания.

Целите и тематиката на конференцията са изцяло в рамките на обявената от ООН **Международна година на фундаменталните науки за устойчиво развитие (МГФНУР)** за периода от 01.07.2022 г. до 30.06.2023 г. (<https://www.iybssd2022.org/en/home/>), като тя е част от събитията, включени в



Националния план за отбелязване на МГФНУР. Докладите във всички тематични направления акцентират и върху значението на представените изследвания за устойчивото развитие на човешкото общество.

Един от проблемите за развитието на ядрените технологии и изследвания сега е страхът сред обществото от възникването на ядрени инциденти, който може да се преодолее само с непрекъснато повишаване и осъвременяване на технологиите на ядрената безопасност, за което са нужни както фундаментални научни изследвания, така и нови технологични решения. Тази проблеми стоят пред цялата световна общност и решението им може да се намери само с активно сътрудничество с международните и национални институции. У нас има традиции и перспективи и в това отношение, от което следват и богатите възможности за успешни кариери в тази област. Вашата конференция е пример за стъпка към решаването на тези проблеми, което доказват и високите цели, които си поставяте и отговорността, която за пореден път поемате пред младото поколение.

Отново поднасям нашето приветствие на организаторите и участниците в този форум и Ви пожелавам успешна и ползотворна работа, за да осигурим за нас, нашите съвременници, а и за бъдещите поколения, конкурентна икономика, основана на знанието, науката и модерните и безопасни технологии.

Пожелаваме на всички здраве, сили и ентузиазъм, за да продължим съвместно успешната си и ползотворна работа.

С УВАЖЕНИЕ,

Чл.-кор. АЛЕКСАНДЪР ДРАЙШУ

ПРЕДСЕДАТЕЛ СФБ



Проф. д.фз.н. АНА ГЕОРГИЕВА

Отговорен секретар на СФБ

16.11.2022 г.

DOI: 10.34660/INF.2023.63.41.001

FORECASTING THE RELEASE OF RADIOACTIVE COMBUSTION PRODUCTS FROM THE FOREST FIRE ZONE

Sergij Vambol, Dr.Sc., Prof., (National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine)

Viola Vambol, Dr.Sc., Prof., (1. University of Life Sciences in Lublin, Lublin, Poland, 2. Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic National University, Poltava, Ukraine)

Sergiy Yeremenko, Dr.Sc., Assoc. Prof., (Institute of Public Administration and Research in Civil Protection, Kyiv, Ukraine)

Volodymyr Sydorenko, Dr.Sc., Assoc. Prof. (Institute of Public Administration and Research in Civil Protection, Kyiv, Ukraine)

Nadeem Ahmad Khan, Dr., Assoc. Prof. (Jamia Millia Islamia, New Delhi, India)

***Abstract:** The paper presents mathematical and computer models of the formation of a radioactive smoke cloud and its migration in the atmospheric air during a forest fire. The study of the propagation processes of radioactive aerosols and gas components was carried out taking into account convection, turbulent exchange, humidity, strength and direction of wind over the combustion zone. The data obtained by modeling and experimental measurements of ^{137}Cs concentrations in the air during a forest fire are compared.*

***Keywords:** radioactively contaminated areas, forest fires, environmental safety, radioactive substances, the spread of radioactive substances.*

Relevance of the problem

When evaluating the relevance of this study, first of all, attention should be paid to the scale of radioactively contaminated territories. More than 43 thousand km² of land (this is 7% of the territory of Ukraine) are considered to be radioactively contaminated due to the Chernobyl disaster. At the same time, 1.1 million hectares of forests are located in these zones (this is 12% of the forests of Ukraine). Administratively, these are 73 districts in 12 regions, with 2293 settlements in which 3.4 million people live [1]. More than a thousand forest fires are recorded annually in these territories, of which only 10% occur due to natural causes. At the same time, on average, the total area of fires per year is more than 2 thousand hectares and up to 50 thousand cubic meters of wood are damaged.

According to experts [2, 3], one of the dangerous factors of secondary exposure of people living in these areas is forest fires contaminated with technogenic radionuclides.

This type of emergency is characterized by fiery combustion, smoldering and high smoke content of the air with gases with the formation of soot particles - products of incomplete combustion. The spread of smoke and soot in the surface layers of the atmosphere contributes to the direct entry of radioactive combustion products through the respiratory tract into the human body. The formation of a

radioactive smoke cloud during a forest fire and the impact of radiation on the environment can be represented as four sequential transition zones, which are presented in Fig. 1. At the same time, we understand that in the process of burning forest vegetation contaminated with radionuclides, radioactive combustion products are emitted into the environment in the form of smoke, which, mixing in the atmosphere with clean air masses, affect and cause serious harm to public health.

The nature of such processes is stochastic [4]. The occurrence, development and spread of forest fires and variation in the degree of the burning of vegetation in forests with a low density of radioactive contamination depend on the fire load, the season of the year, and other fire engineering and meteorological factors. This significantly complicates assessing the radiation situation and forecast [5].

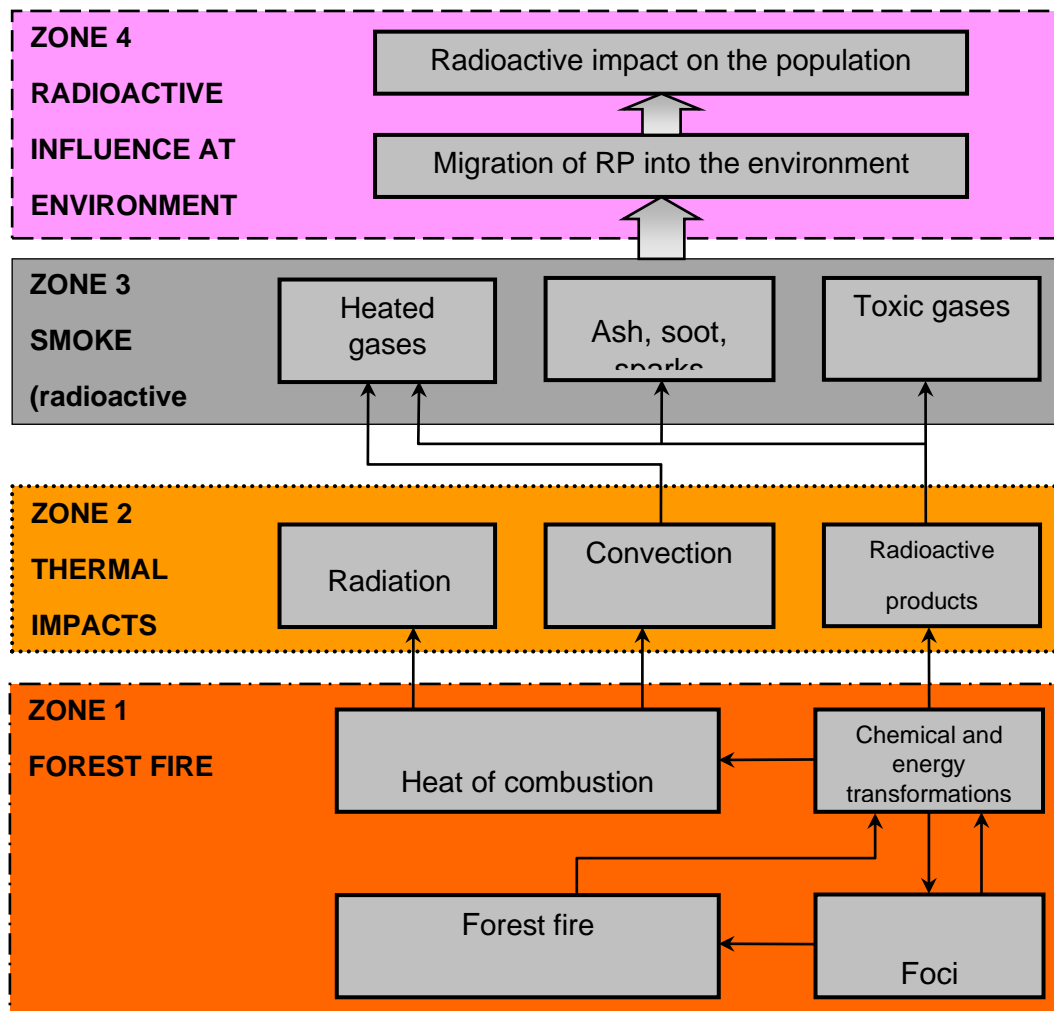


Figure 1. Formation of a radioactive smoke cloud during a forest fire and the impact of radiation on the environment

Therefore, forecasting is based on modeling the secondary transfer of one of the main dose-forming radionuclides ^{137}Cs , predicting changes in the radioecological state during a forest fire, as well as calculating the individual and collective radiation dose and, consequently, the radiation risk for the population

in the area affected by the plume of radioactive combustion products is a relevant task.

Results and Discussion

1. Formation of initial data

To understand the process of formation of doses of radioactive exposure of people living in the zone of action of radioactive products of combustion and to assess the radioecological consequences, it is necessary to develop [6]:

- mathematical model of a forest fire;
- model of radioactive smoke cloud formation;
- model of releases of radioactive combustion products from the forest fire zone into the environment;
- methods for calculating dose loads and radiation risks for the population.

In this case, to assess the radiation state during a forest fire, it is necessary to know as initial data [7]:

- place and conditions of a forest fire;
- type of forest plantations and their radioactive contamination;
- fire hazard class;
- forest fire load;
- type of forest fire;
- the process of the fire;
- the presence of radioactive aerosols in combustion products and the degree of their radiation hazard to people;
- the process of migration of radioactive products of combustion into the environment;
- the zone of radioactive spread, taking into account wind directions along the points according to weather stations;
- total time of radioactive exposure of people;
- ways of getting radioactive products of combustion into the human body;
- Vulnerability of the population depending on age (age category);
- the probable nature of the occurrence of malignant diseases and deaths from exposure to the body of radioactive factors;
- probability of occurrence of radioecological consequences.

2. Modeling the release of radioactive combustion products from the forest fire zone

Modeling the release of radioactive combustion products during a forest fire can be represented as several independent tasks due to the phased phases of their occurrence and distribution. In the first phase, they pass into the environment through a smoke cloud. In the second phase, the plume of smoke moves mainly along the surface of the earth. With the distance from the fire source, less and less smoke particles remain in the smoke plume due to their "dry" deposition and dispersion. Various dynamic models can be used to describe the migration process

of radioactive combustion products. However, to calculate the fast processes of their release from several ignition sources, it is necessary to use calculation methods that are more advanced in physical terms and simple in mathematical terms.

Mathematical justification

The main points of the method for calculating the concentration of radioactive combustion products in the air, taking into account the variable power of fire sources and the time of their action [8], have several equations.

The equations of turbulent diffusion of radioactive combustion products entering the atmosphere from fires with coordinates (x, y, z) located in unlimited space, in the approximation of constant wind speed and turbulent diffusion coefficients, can be written as follows [9]:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = k_x \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + k_y \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} + k_z \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} - \sum_{i=1}^3 V_i \frac{\partial C}{\partial x_i}; \quad (1)$$

$$-\infty < x, y, z < \infty; \quad t > 0; \quad C(0, 0, \Delta h_{ef}, 0) = Q/\Delta W,$$

where $C(x, y, z, t)$ – is the concentration of radioactive combustion products in the air depending on spatial coordinates and time;

k_x, k_y, k_z – are the coefficients of turbulent diffusion of radioactive combustion products in the surface layer of the atmosphere;

V_x, V_y – are projections of wind speed on the x and y axes, respectively;

V_z – is the sum of the rates of gravitational settling of radioactive combustion products and the movement of the smoke cloud in the vertical direction;

Q – is the total activity of α -, β -, γ -radionuclides released into the atmosphere during the fire;

ΔW – is the volume of radioactive products of combustion released into the environment during a fire;

Δh_{ef} – is the effective height of the smoke cloud relative to the earth's surface.

The expression for calculating the concentration of radioactive combustion products in the air, formed by the action of such a fire cell, in accordance with the properties of the Green's function is written:

$$C(x, y, z, t) = \int_0^T P(\tau) \cdot G(x, y, z, t) \partial \tau; \quad (2)$$

$$T = \begin{cases} t_n, & \text{if } t > t_n \\ t, & \text{if } t \leq t_n \end{cases}.$$

The power of the source of release of radioactive combustion products from the fire seat can be determined by dividing their total amount released into the atmosphere by the duration of the source:

$$P_i = Q/t_n. \quad (3)$$

The transfer of radioactive combustion products from a continuously acting release $P(t)=\text{const}$ can be calculated using formula (2) under the condition $t_n \rightarrow \infty$ and $t \rightarrow \infty$, in this case the integral will be taken analytically. The concentration \bar{C}_n at any point in space is $\bar{X}_j = (x^j, y^j, z^j)$, "created" by the action of n point fires and the power of the emission source - P_j each having coordinates $\bar{L}_j = (l_1^j, l_2^j, l_3^j)$, will be:

$$\bar{C}_n(\bar{X}_j, \bar{L}_j) = \sum_{j=1}^N C(P_j, \bar{X}_j, \bar{L}_j). \quad (4)$$

This formula can be used to calculate the migration of radioactive combustion products from several fires with complex shapes. It is also possible to calculate the concentration fields of radioactive combustion products in the air, which are formed from fires in an area, linear or volumetric. The formula calculates the height of the smoke cloud:

$$\Delta h_{ef} = \xi_i M^{1/3} X^{2/3} U^{-1}, \quad (5)$$

where ξ_i – is the transition coefficient for the i -th stability of the atmosphere;

M – is the power of the heat source;

X – is the vertical width of the smoke plume;

U – is the wind speed at the height of the smoke cloud mixing.

The distance from the point of emission of the smoke cloud to the place of the fallout of radioactive combustion products was calculated by the formula

$$L = \varepsilon_1 M^{3/5} U^{-1}, \quad (6)$$

ε_1 – is the transition coefficient for the i -th stability of the atmosphere.

Computer modelling

To describe the formation and propagation of a smoke plume and the fallout of particles of radioactive combustion products from it, a three-dimensional model was developed using the momentum levels, mass and energy of the airflow, and the number of particles in the smoke plume [10]. A system of ordinary differential equations was numerically solved for the velocity of the airflow along the axis of the jet, its overheating with respect to the surrounding air, the radius of the smoke jet, and the concentration of radioactive combustion products in the smoke jet. Each layer was considered as a separate independent source of radioactive combustion products, for which their concentration in the atmosphere was calculated at different distances from the release site. Real wind and temperature fields obtained from radio-sounding data were used as input to the simulation. It was assumed that the forest fire occupied a circular area in the Chernobyl zone with a radius of 100 meters with a duration of the convective stage of the fire of 1 hour. The minimum jet rise height varied from 2000 to 2500 m depending on the stratification of the boundary layer and the wind velocity profile in it.

The concentrations of ^{137}Cs were calculated at a forest pollution density of up to 37 kBq/m^2 and a relative amount of activity rising into the atmospheric air equal to 7%. In fig. 2 shows the dynamics of the formation and movement of a smoke cloud during a forest fire.

In computer simulation, a heated smoke cloud of radioactive combustion products was considered, which, due to the Archimedean force, rose into the atmosphere at a speed of no more than 10 m/s. Volatile particles of radioactive combustion products had a complex morphological and chemical composition with a density of $(3-10) \text{ mg/cm}^3$, and their spectrum varied in a wide size range $(0.1-100) \mu\text{m}$ with an aerodynamic diameter of 30 to 50 μm .

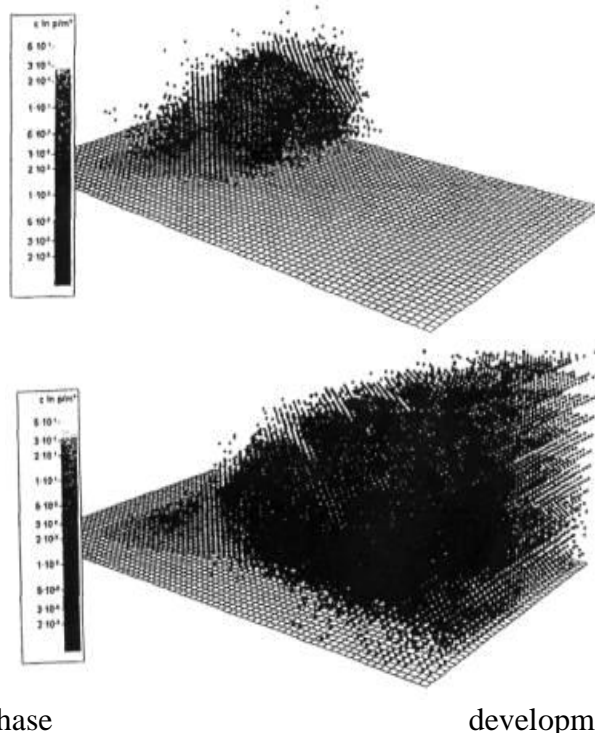


Figure 2. Dynamics of formation and movement of a smoke cloud in space

The final picture of radioactive contamination of the area was formed in a time that depended on the distance to the point of the forest fire and meteorological parameters.

A numerical experiment was carried out in the field of modeling - migration of volatile particles of radioactive combustion products - a paralepiped with a size of $(10 \times 10 \times 5) \text{ km}^3$, the lower boundary - a function $z = \delta(x, y)$ - describing the terrain, the value of which is equal to the absolute marks of the height of the river of the zone alienation, in the nodes of a uniform grid, specified with a step $\Delta x = \Delta y = 100 \text{ m}$. The dimensions of the grid area are $45 \times 40 \times 30$ nodes. An uneven step was used vertically. The time step was $\Delta \tau = 30 \text{ s}$. The temperature of the underlying surface was calculated taking into account the terrain point's relative height and the background atmosphere's stratification. The calculation of the dynamics of formation, movement and fallout of volatile particles of

radioactive combustion products during a forest fire of the middle category took about 2.5 hours on a personal electronic computer system.

On fig. 3 shows the dynamics of changes in the density of fallout of volatile particles of radioactive combustion products along the trail of a smoke plume.

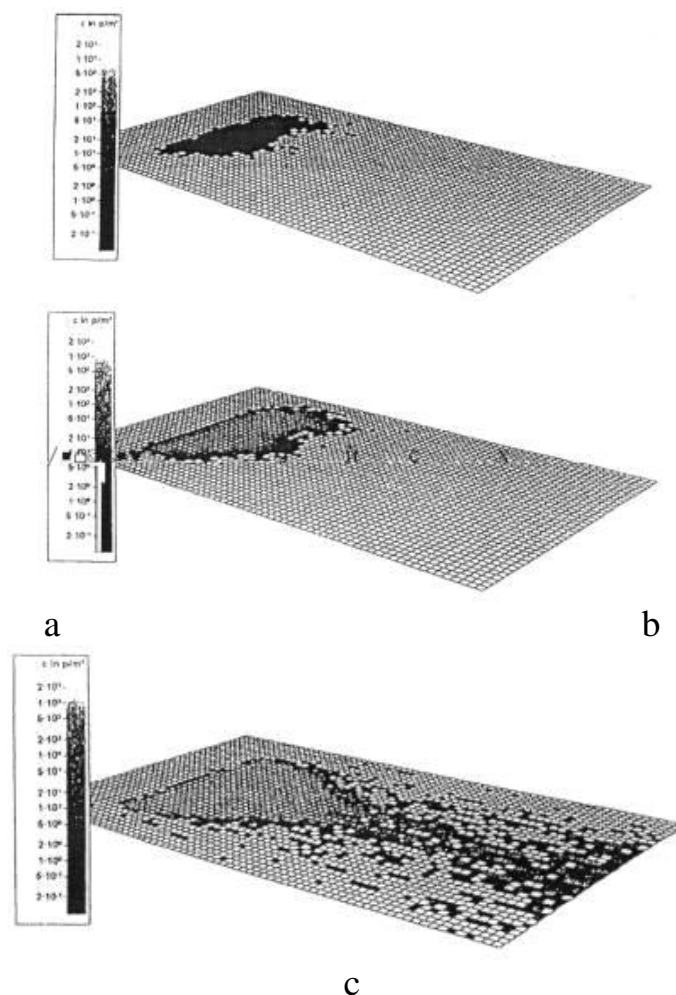


Figure 3. Dynamics of change in the density of fallout of volatile particles of radioactive combustion products on the trace of a smoke plume:
a – $t_1=30$ min.; *b* – $t_2=120$ min.; *c* – $t_3=210$ min.

Discussion

As an illustration, fig. 4 shows the results of a comparison of data obtained by modeling and experimental measurements of ^{137}Cs concentrations in the air of the density of precipitation on the soil surface P during a forest fire in the summer of 1992 in the Exclusion Zone.

The adaptation of the developed algorithm and program, as well as the verification of the reliability of the calculated data, were carried out by comparison with experimental data obtained in the field. A comparative analysis of the results of modeling and numerical calculations, as well as experimental data obtained in the field, showed (see Fig. 3) that the error in the spatial and temporal

distribution of ^{137}Cs concentrations in the atmospheric air and the density of its deposition on the earth's surface does not exceed 30%. Such a discrepancy in the data obtained can be explained by the fact that smoke particles had a complex morphological and physicochemical composition of density from 3 to 10 mg/cm³, and their spectrum varied in a wide range from 0.1 to 100 μm with different aerodynamic diameters from 50 μm.

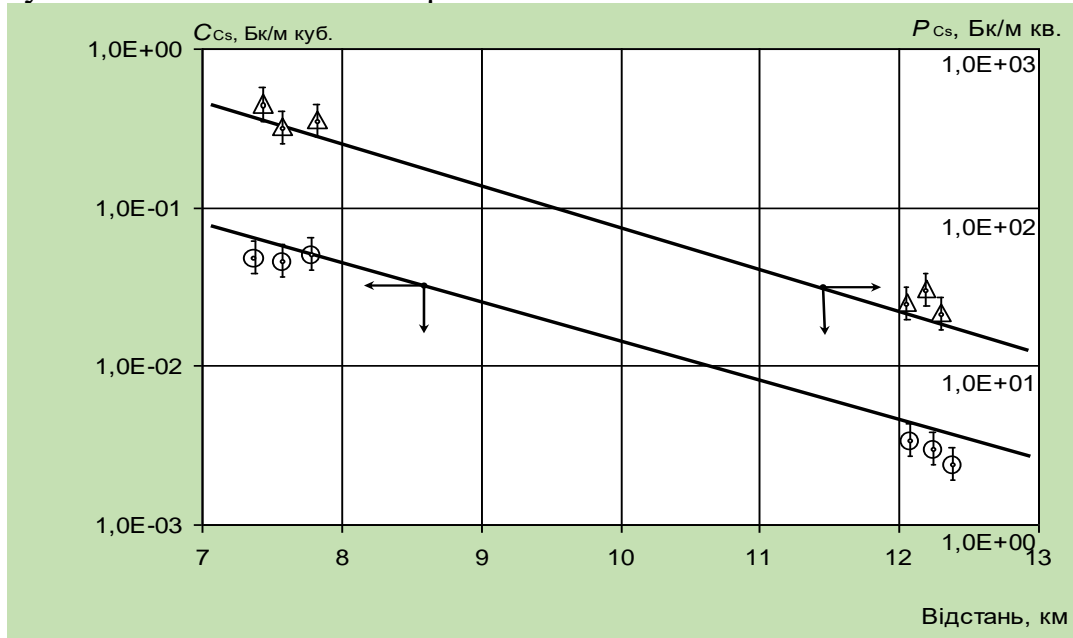


Figure 4. Comparison results of numerical simulation data and experimentally measured concentrations of ^{137}Cs radioisotope fallout

Conclusion

Models of the formation of a radioactive smoke cloud and its migration in the atmospheric air are presented.

Using the presented approach, a study was made of the propagation processes of radioactive aerosols and gas components, taking into account convection, turbulent exchange, humidity, strength, and wind direction over the combustion zone.

A computer simulation of the formation and propagation of a smoke plume and the fallout of particles of radioactive combustion products from it was performed; a three-dimensional model was developed using impulse levels

The conditions for the entry of radioactive combustion products into the atmosphere depend on personal factors: the height of the rise of the smoke cloud may differ by two times, the duration of formation by 1.5 times, the nuclide composition of the release by 10%, and also from the constant change in meteorological over time data (wind speed and direction, temperature and humidity, etc.)

References

1. Natsionalna dopovid pro stan tekhnohennoi ta pryrodnoi bezpeky v Ukraini // MNS Ukrainy. Ofitsiyni sait. <http://www.mns.gov.ua>.
2. Odnolko A.A. Yssledovanye vtorychnoi opasnosti pry pozharakh obiektov s povyshennym zahriaznnyem radyonuklydamy: avtoref. dys. kand. tekhn. nauk. – VYPTSh MVD RF. – M., 1995. – 18 s.
3. Molodykh V.T. Radyoekolohycheskye posledstvyia lesnykh pozharov. – Mynsk, 1993. – 17 s.
4. Distribution and influence of forest fires on the ecological and radiation situation in radioactively contaminated areas / V Sydorenko, S Yeremenko, V Vambol, S Vambol, L Poberezhna / Procedia Structural Integrity 36, 318-325
5. Forest fires in radioactively contaminated territory: the consequences of the chernobyl disaster today [Техт] / Viola Vambol, Sergij Vambol, Sergiy Yeremenko, Roman Shevchenko // "Сборник доклади от научна конференция „Радиационната безопасност в съвременния свят” 17-19-11-2021 г Велико Търново, 2021 г. Издателски комплекс на Национален военен университет „Васил Левски” ISSN 2738-7607 Print ISSN 2603-4689 CD
7. Azarov S.Y. Metodyka rascheta perenosa radyonuklydov v rezultate pozharov v Chernobylskoi zone / S.Y. Azarov // Radyatsyonnaia byolohyia. Radyoekolohyia. – 1997. – . № 1.– pp. 102–109.
8. Azarov S.Y. Metodyka analiza radyatsyonnoho ryska pry tushenyu pozhara na terrytoryakh, zahriaznennykh radyonuklydamy / S.Y. Azarov // Pozharo-vzryvobezpasnost. – 2001. – Т. 10. – № 1. – С. 40–43.
9. Azarov S.Y. Zahriaznenye atmosfery ^{137}Cs pry lesnykh pozharakh v Chernobylskoi zone // Radyatsyonnaia byolohyia. Radyoekolohyia. – 1998. – Т. 36. –№ 4. – С. 474–483.
10. Azarov S.I. Doslidzhennia nadkhodzhennia ^{137}Cs v povitria pry lisovykh pozhezhakh v Chornobylskii zoni /S.I.Azarov, V.L.Sydorenko, O.V.Rudenko, A.V.Pruskyi // Pozhezhna bezpeka: teoriia i praktyka. – 2011, – № 9. – С. 5–10.

DOI: 10.34660/INF.2023.88.28.002

ECOLOGICALLY SAFE ACOUSTIC TECHNOLOGY FOR INFLUENCING ANIMAL MICRO-OBJECTS (SPERMS, EMBRYOS)

Mykola Kundenko, Dr.Sc., Prof., (National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine)

Sergij Vambol, Dr.Sc., Prof., (National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine)

Oleksandr Trush, Dr.Sc., Prof., (National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine)

Niloofar Mozaffari, PhD student (Université Laval, Quebec, Canada)

Nastaran Mozaffari, PhD student (Université Laval, Quebec, Canada)

***Abstract:** In the presented work, the development of an effective environmentally friendly technology for influencing animal micro-objects (sperms, embryos) is substantiated. The basis for this is low-intensity acoustic technology. In fact, these developments can be attributed to information impact technologies. A safe impact on the environment, humans and biological organisms is achieved through the use of low-energy and low-intensity impact. The impact on micro-objects occurs with oscillation frequencies close to the natural frequencies of biological objects.*

***Keywords:** environmental safety, acoustic technology, low-frequency effects, low-energy effects, cryopreservation.*

Relevance of the problem

The relevance of this study is based on the need to develop modern technologies in medicine and their impact on humans and the environment. One of the promising areas is cryopreservation. To date, the use of low-intensity acoustic vibrations in animal husbandry to influence micro-objects before their cryopreservation is being considered. Such technologies are justified with their maximum impact on the information processes of the life of biological objects, depending on the parameters of acoustic vibrations (frequency, power, exposure).

In this regard, it should be understood that the issue of a safe impact on the environment, humans and biological organisms is a priority. That is, it is necessary to use environmentally friendly technologies. The basis for this is low-intensity acoustic directional action, in fact, these are technologies at the level of information impact. In this case, safety is achieved through the use of low-energy and low-intensity exposure. In this case, the action on micro-objects occurs with oscillation frequencies close to the natural frequencies of biological objects.

Determining the parameters of acoustic vibrations for influencing biological micro-objects is associated with the study of the processes of

interaction of low-intensity acoustic vibrations, taking into account their morphological structure and acoustic properties of biological forms.

The analysis of the work of domestic and foreign researchers shows that they lack the development of methodological principles and models for studying the effect of low-intensity acoustic vibrations on the vital activity of biological objects, there is no methodology for determining the numerical values of acoustic vibrations that can cause the optimal response of biological objects, taking into account the stimulating effect [1-5].

An analysis of existing methods and devices for assessing the effect of low-intensity acoustic vibrations on the vital activity of biological micro-objects shows that they are based on various physical principles and have certain areas of application. They are characterized by the complexity of hardware implementation, low information content, and the impossibility of monitoring the state of biological objects of animal husbandry under the influence of external physical factors [6-8, 10].

One of the ways to solve this urgent problem is to develop models and conduct theoretical studies to determine the necessary parameters of low-intensity acoustic oscillations, and optimize these parameters using a dielometric system in the millimeter wavelength range [9].

As the main direction at this stage, it was proposed to conduct research in the field of cryopreservation of animal sperm. The main problem in the technology of cryopreservation of animal sperm remains the reduction of biologically valuable sperm in the process of cryoprocessing. Conformational changes in lipoprotein complexes of biomembranes occur already at the stage of cooling, which further increase during crystallization and deconservation and are manifested by the appearance of transmembrane defects. This causes a violation of membrane permeability, a whole complex of biochemical changes that lead to a decrease in the biological usefulness of sperm and even their death.

When studying the ultrastructure of thawed sperm using electron microscopy, it was found that: only 7.3% of the cells do not have signs of cytoplasmic membrane (CPM) disturbances; 33.7% have minor damage, manifested by swelling and a slight detachment from the acrosome, without changing their integrity; 37% of spermatozoa have moderate violations of the CPM with an increase in its thickness and signs of granular decay, and 22% are characterized by a rupture of the integrity of the CPM and acrosome with the release of acrosomal contents and complete cell destruction. When defrosted sperm is stored in cells with a damaged acrosome, acrosomal content is lost, in particular, enzymes involved in the fertilization process. If 27.2% of hyaluronidase was in the released state in thawed sperm (22.7% before freezing), then after 4 hours of incubation at 38°C, its yield with across was already 56.9% [9, 10].

A brief analysis shows that an increase in the fertility of animals and the

resistance of their micro-objects to low temperatures during cryopreservation can be carried out using an environmentally friendly technology of low-intensity acoustic oscillations. This will ensure the maximum impact on the information processes of the life of biological objects, depending on the parameters of acoustic vibrations (frequency, power, exposure).

Results and Discussion

In the course of many years of research, based on theoretical and experimental studies, an environmentally friendly low-intensity acoustic technology has been created. An electronic system has also been developed to determine the optimal parameters of acoustic vibrations for influencing micro-objects of animals (sperm, embryos) before cryopreservation, namely, cattle (cattle). The main objective of this technology is to increase the yield of viable sperm. ability and decrease in the number of sperm in sperm doses for artificial insemination.

To increase the yield of viable spermatozoa after cryopreservation and reduce the number of sperm in sperm doses for fertilizing animals, it was proposed to irradiate sperm doses with low-intensity acoustic vibrations before cryopreservation [11].

An analysis of domestic and foreign publications shows that the creation of a highly sensitive dielcometry system in the technological process of cryopreservation of animal micro-objects is possible on the basis of frequency autotuning of the generator frequency to the frequency of a high-Q measuring resonator with animal micro-objects. To stabilize the oscillator frequency, it is advisable to use a dielectric resonator with whispering gallery oscillations.

On the basis of theoretical studies, it has been established that for the formation of boundary layers on the plasma membrane of animal microobjects (1.8 μm for embryos and 0.4 μm for sperm), it is necessary to create acoustic systems in a cryopreserving medium with a microflow velocity of 35.7 m/s. for embryos and 33.4 m/s for sperm.

Processing with acoustic dependences of a cryopreserving medium with animal microobjects (frequency 0.98 kHz, power 1.07 μW , processing time 307 s) leads to the calculation of the observed protective layer on the plasma membrane of microobjects by a factor of 10 exactly with the treated untreated mass.

Determination of the optimal parameters of acoustic vibrations

Determination of the optimal parameters of acoustic vibrations for influencing animal micro-objects before their cryopreservation should be carried out by changing the cryopreservation medium by the resonator method using the developed installation based on open resonators formed by spherical and flat

mirrors, with the following parameters: mirrors 60 mm; radius of curvature of a spherical mirror 110 mm; ratio $L/R=0.579$; the distance from the axis of the mirrors to the connection slots is 9.4 mm; resonant frequency 74.278 GHz; the quality factor of the resonators $Q=4120$ is loaded.

In the installation for determining the parameters of acoustic vibrations, it is necessary to use a generator with the following parameters:

- generator output frequency 74.2780 ± 0.004 GHz;
- generator output power 50...60 mW;
- generator frequency tuning range 2%;
- attenuation of side harmonics of the output signal is not less than 40 dB;
- long-term instability of the generator frequency for 1 s;

Sperm doses before cryopreservation should be irradiated with low-intensity acoustic vibrations with the following parameters: frequency 1 kHz; power $1 \mu\text{W}$; exposure 300...320 s.

To obtain offspring of cattle calves weighing 30...31 kg, with a survival rate of 100% and using the number of viable spermatozoa in a sperm dose of 5...6 million pcs. sperm doses should be irradiated before cryopreservation with low-intensity acoustic vibrations with the established parameters.

Irradiation of embryos before cryopreservation with acoustic vibrations with the following parameters: frequency 1 kHz; power $1 \mu\text{W}$; an exposure of 300 s leads to an increase in the fertility of cattle by 25% compared to the control. The survival rate of offspring in the experiment is 100%, and in the control 50%.

Production tests with micro-objects of cattle

To confirm the proposed parameters of an environmentally friendly technology, it was decided to conduct a series of production tests. For the adequacy and reliability of the results, these studies were carried out under the guidance of employees of the Department of Veterinary Medicine. In two farms of the Kharkiv region (farm "Kolos" of the Volchansky district and the farm "Twentieth" of the Sakhnovshchinsky district), irradiation of cattle micro-objects with low-frequency acoustic vibrations was performed. Production tests with bovine embryos irradiated with acoustic vibrations with the following parameters: frequency 1 kHz; power $1 \mu\text{W}$; exposition 320 s. Of particular interest were the biological ecological indicators of newborn calves from sperm, the main ones are presented in Tables 1 and 2.

Table 1. Ecological indicators of the 1st production study "Kolos"

Vitality indicators newborn calves	Experimental group, 20 cows	Control group, 20 cows
Live calves born, pcs	26	11

Live weight of one newborn calf, kg	30...31	24...26
Stand up time, min	24...26	40...42
Time interval between getting up and sucking mother, hour	0,6...0,8	1,2...1,8
Calf weight loss per newborn in the first 5 days, %	1,5	5,8
Morbidity of calves, %	10,2	44
Survival rate of newborn calves after 20 days, %	100	36,8

Table 2. Environmental indicators of the 2nd production study "Twentieth"

Vitality indicators newborn calves	Experimental group, 12 cows	Control group, 12 cows
Live calves born, pcs	15	9
Live weight of one newborn calf, kg	31...32	26...28
Stand up time, min	22...24	40...41
Time interval between getting up and sucking mother, hour	0,6...0,9	1,4...1,8
Calf weight loss per newborn in the first 5 days, %	1,3	5,9
Morbidity of calves, %	11,2	48
Survival rate of newborn calves after 20 days, %	100	50

Discussion

From the analysis of the data obtained, it follows that 57.7% more calves were born in the experiment than in the control, and the weight of newborn calves in the experiment exceeded the control ones by 5...6 kg. It was also found that the time of standing up in the experimental group was 24...26 minutes, and in the control group 40...42 minutes.

An important indicator of the viability of newborn calves is weight loss in the first 3-6 days after birth. During the experiment, it was found that the loss of body weight per calf in the first 5 days of life was 1.5% for the experimental group and 5.8% for the control group. Specialists of veterinary medicine have registered cases of calves with gastrointestinal and pulmonary diseases. The incidence of

calves in the experimental group was 10.2%, and in the control 44%. The mortality rate of calves after 20 days of life was 36.8% in the control group, and all calves survived in the experimental group.

Production experience with animal embryos also showed that the effect of acoustic vibrations on embryos increases their resistance to low temperatures and increases the viability of the resulting offspring of cattle.

Conclusion

On the basis of theoretical and experimental studies, a low-intensity acoustic technology and an electronic system have been created to determine the optimal parameters of acoustic vibrations for affecting micro-objects of cattle animals (sperm, embryos) before their cryopreservation in order to increase the yield of viable sperm after cryopreservation, increase their fertilizing ability and reduce the number of sperm in sperm doses for artificial insemination.

As a result of production tests, it was found that irradiating a sperm dose with acoustic radiation before their cryopreservation increases the yield of viable sperm after cryopreservation up to 70...80%.

The energy efficiency of the proposed environmentally friendly low-frequency acoustic technology for influencing micro-objects requires further research.

References

1. Moroz L.G. Theoretical aspects of low-temperature conservation of sperm of agricultural animals / L.G. Frost // Cryopreservation of sperm of farm animals, 1988. - P. 7 - 56.
2. Chervinskyi L.S. Optymizatsiinyi pidkhid do rozrobky vysokoproduktyvnykh tekhnolohii oderzhannia produktsii / L.S. Chervinskyi, I.P. Radko // Visnyk TDATU.– 2010. – Vyp. 10. Tom 8.– S. 33 – 38.
3. Stephens R.J., Hart C.P., Torbit C.A., Edmonds P.D. Responsible subcellular alteration on heratocytes resuliny from ultrasound. *Ultrasound in Med. Biol.*, 1980, v.6, №3, p. 239–249/
4. Watmogh D.G., Denty P.P., Eastwood L.M., Gregory D.M., Gordon F.C.A., Wheatley P.M. The biophysical effects of therapeutic ultrasound on Hela: cells. *Ultrasound in Ivied. 236. Biol.*, v.3, №2-3, p. 205–220.
5. Webster D.F., Pond G.B., Dyson M., Harvey W. Role of cavitation in the “in victro” stimulation of protein synthesis in human fibroblasts. *Ultrasound in Med. Biol.*, 1978, v.4, №4, p. 343–351.
6. Sorokin M.S. Pulsed Electromagnetic Technology and Technical Systems for Increasing Animal Reproduction: Dis., Ph.D. tech. Sciences: 05.11.17 / Sorokin M.S. - Kharkov, 2010. - 155 p.

7. Belous A.N. Molecular-cellular concept of cell creep damage: the role of transmembrane defects / A.N. Belous, V.A. Bondarenko, A.K. Gulevsky // Cryobiology, 1987. - No. 2. - P.3 - 10.

8. Nauk V.A. Structure and function of sperm of agricultural animals during cryopreservation / V.A. Sciences. - Chisinau: Shtintsa, 1991. - 197 p.

9. Kundenko N.P. Studies of cryopreservation of microobjects of cattle / N.P. Kundenko // Bulletin of the National Technical University "KhPI". - 2011. - Issue. 34/2012.– P. 156 – 160.

10. Brett J.N. Advances on Reproduction in Dairy Cattle / J.N. Brett, J.S. Stevtson // J. of Dairy Seince, 1981. – V. 64, № 6. – P. 1378–1402.

11. Kundenko N.P. Molecular acoustic technology and electronic control systems in the technological process of animal reproduction / Kundenko N.P. / Abstract for the competition Doctor of Technical Sciences, - Petro Vasilenko KhNTUSH, Kharkiv - 2012, 40 p.

DOI: 10.34660/INF.2023.88.27.003

**ПОЛЕВА ГАЗОВА ХРОМАТОГРАФСКА
ИДЕНТИФИКАЦИЯ НА АДАМСИТ: ДЕРИВАТИЗАЦИЯ С
АЛИФАТНИ ТИОЛИ**

Томас Розипал

**FIELD GAS CHROMATOGRAPHIC IDENTIFICATION OF
ADAMSITE: DERIVATIZATION BY ALIPHATIC THIOLS**

Tomas Rozsypal

Summary

The report describes the development of a method for identification of the irritant chemical warfare agent Adamsite. Due to its low volatility, it cannot be analyzed directly by gas chromatography. Published procedures for the conversion of organoarsenic compounds to volatile derivatives have not been tested for Adamsite or cannot be used under field conditions. The research was focused on aliphatic thiols, which react with Adamsite by nucleophilic substitution on the arsenic atom. 5 substances were tested (ethanethiol, 1-propanethiol, 2-propanethiol, 1-butanethiol and 1-hexanethiol). The influence of the reaction medium and the time dependence of the reaction were monitored. The objects of interest were the retention characteristics and mass spectra of the newly formed derivatives, the purity of the chromatograms and the characteristics of the peaks. As the most suitable reagents, 1-hexanethiol and 1-butanethiol were identified.

Keywords: *Deployable laboratory; chemical warfare; mass spectrometry.*

Introduction

After the end of World War II, the states disposed large quantities of chemical weapons arsenals by dumping them into seas, oceans and rivers. From the late 1940's to early 1960's, hundreds of thousands of tons of munitions containing sulfur mustard, nerve agents and other important chemical warfare agents were dumped in various places on earth. A lot of exact locations are not known to this day and represent a significant ecological problem [1]. However, munitions with arsenic chemical warfare agents (CWAs), lewisite, Adamsite, Clark I and Clark II and arsenic oil (a mixture of 50% phenylarsinedichloride, 35% diphenylarsine chloride, 5% of triphenylarsine and 5% arsenic(III)chloride) were also dumped [2]. Arsenic substances escape from ammunition and gradually break down into various degradation products, often very toxic [3]. Complete spontaneous decomposition of arsenic CWAs in water is not expected to take more than 100 years, but for Adamsite it may take even longer [4].

Adamsite (5-chloro-5,10-dihydrophenarsazine) is an irritating and vomiting CWA, its aerosols irritate the upper respiratory system causing breathing difficulties, pain in the lungs and strong salivation. Despite its practical insolubility in water (0,064 g/L), its concentration in some dump sites is equal to the acute toxicity values of some aquatic organisms [5]. Death has been reported with excessive exposure [6]. The literature reports poor solubility even in organic solvents. The boiling point is unusually high (410 °C). Its low volatility predetermines it for use in aerosol form. Due to the very stable structure (Figure 1), the compound is relatively inert. It is able to last in water for many years without significant degradation. It is one of the most effective and at the same time the cheapest CWAs [7].

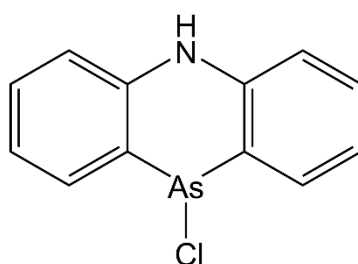


Figure 1. 5-chloro-5,10-dihydrophenarsazine (Adamsite)

There are a number of methods for the analysis of Adamsite and other arsenic CWAs using adsorption on green phosphorene nanotubes [8], liquid chromatography (LC) [9, 10], handheld Raman spectrometry [11] or vapor-sampling direct gas chromatography/mass spectrometry (GC/MS) [12]. However, these methods are either unsuitable for use in mobile laboratory tasks or do not reach the parameters for the required level of identification. Military mobile laboratories for analysis follow NATO documentation, namely STANAG 4632 [13] and AEP-66 [14]. According to these documents, the mobile laboratory should be able to identify chemical substances at the so-called confirmed level. Preferably, chromatography with mass spectrometry is required to meet this criterion. Due to the time-consuming nature of the procedure (6 hours for the process of acceptance of the crude sample to the presentation of the analysis protocol and issuance of recommendations), the supporting technique is GC/MS. Field devices are often used, which are rugged for transport, but do not reach the parameters of benchtop devices.

Lewisite as arsenic CWA has been analyzed in the past by GC without derivatization. However, this is not possible with Adamsite due to its very low volatility, in addition, the authors mention the low linearity of the method at low concentrations due to adsorption in the injection port [15]. Schoene et al. [16] proposed GC/MS analysis of Adamsite after pyrolytic ethylation or bromination. The substitution of chlorine atoms bound to arsenic in CWA by alkanethiols is reported by Haas [17]. The thiolation of arsenic CWAs is used in antidote therapy [18]. Hanaoka et al. [19] analyzed diphenylarsenic compounds in water and soil.

Derivatization was carried out using *n*-propanethiol at ambient temperature or 60 °C and 20 min. Muir et al. [20] used 1-butanethiol and 3,4-disulfanyltoluene, but analyzed air samples after thermal desorption, which cannot be applied to Adamsite. Using the Clark I substance as an example, ethanethiol and 1-propanethiol were compared. The latter was a more suitable agent [21]. Tornes et al. [22] tested water samples containing Adamsite. They derivatized with 1-propanethiol, 1,3-propanedithiol and 3,4-disulfanyltoluene in dichloromethane. The best results were obtained with 1-propanethiol. Other authors also lean towards the same agent [23].

The aim of the research was the development and optimization of a simple procedure for the identification of Adamsite by GC/MS, which will be applicable in the conditions of a mobile laboratory.

Chemicals

5-chloro-5,10-dihydrofenarsazine (Adamsite) 95 % was produced by Military Repair Facility Zemianske Kostolany (Slovakia). Tributyl phosphate 99% (Sigma Aldrich, Germany) was used as the internal standard. As solvents, acetonitrile gradient grade (Sigma Aldrich, Germany), dichloromethane, hexane (both reagent grade ACS, Scharlau, Germany), ethyl acetate for HPLC and acetone reagent (both VWR Chemicals, USA) were used. As thiol reagents, ethanethiol 97%, 1-propanethiol 99%, 2-propanethiol 97%, 1-butanethiol 99% and 1-hexanethiol 99% (all Sigma Aldrich, Germany) were used. The column was calibrated by the alkanes solution C7-C30 1000 µg/mL in hexane (all Sigma Aldrich, Germany).

Equipment

GC/MS was conducted using mobile GC/MS system EM 640 (electron ionization, quadrupole mass filter, m/z 50–550, splitless injection, HP-5MS column). For the acquisition and evaluation of the data, software packages m.a.c.s. LabStar and Bruker DataAnalysis (all Bruker, Germany) were used. GC program was: start at 40 °C (1 min hold) – 10 °C/min gradient until 280 °C (10 min hold). Total time was 35 min.

Manual injections were performed in the volume of 2 µL. Microlitre syringes (Hamilton, USA) were used for injection. Ultrasonic bath Sonorex Digitec (Bandelin, Germany) was used to homogenize solutions. For temperature control during reactions, HD-4 thermostat (Julabo, Germany) was used.

Procedures

Adamsite solubility

The reaction of arsenic compounds with thiols takes place best in organic solvents. The literature does not offer many solvents that dissolve the tested

analyte well. Before individual thiols could be tested, it was necessary to find solvents that would create a solution of Adamsite in reasonable concentrations. For this purpose, mixtures of Adamsite in water (dielectric constant 80), acetonitrile (37.5), acetone (20.3), dichloromethane (8.9), ethyl acetate (6.0) and hexane (1.9) were created by concentration of 2 mg/mL with a volume of 5 mL in sealed vials. Solvents were chosen so that the entire polarity scale was affected. The mixtures were subsequently placed in an ultrasonic bath for 20 min to increase solubility. The solubility was then evaluated.

Derivatization by thiols

Table 1 lists some parameters of the tested thiols, especially with regard to possible reaction temperatures and storage conditions. It is evident that, especially in the case of ethanethiol, it is necessary to follow certain requirements.

Table 1 Characteristics of thiol compounds used for derivatization of Adamsite

Thiol	CAS	bp (°C)	Storage conditions	Odor
ethanethiol	75-08-1	35	2 to 8 °C	skunk
1-propanethiol	107-03-9	67-68	cool, ventilated place	cabbage
2-propanethiol	75-33-2	52	ventilated place	skunk
1-butanethiol	109-79-5	97-99	cool, ventilated place	skunk
1-pentanethiol	110-66-7	125-126	ventilated place	garlic
1-hexanethiol	111-31-9	151	ventilated place	unpleasant, asphalt

1-butanethiol (BuSH) was chosen as the first thiol, which is used in the mobile laboratory for the identification of lewisites. Several aspects that influence the derivatization of Adamsite by BuSH have been investigated. Different solvents, the effect of temperature on the course of the reaction and the time dependence of the reaction were tested. A solution of Adamsite in the appropriate solvent (acetonitrile, dichloromethane, ethyl acetate, acetone) with a concentration of 2 mg/mL was prepared. This solution was spiked with an internal standard (tributyl phosphate, 200 nL/mL). This substance was present in the solution due to mobile GC/MS work and hand spraying. 50 µL of BuSH was added to this 1 mL solution. Subsequently, sonification took place (2 min). Furthermore, the reaction was monitored at different temperatures – 25 and 60 °C (acetonitrile), 25 and 35 °C (dichloromethane), 25 and 50 °C (ethyl acetate), 25 °C (acetone). The kinetics of the reaction was monitored in the range of 15 – 180 minutes. Chromatograms were always compared to a blank created under identical conditions without the presence of analyte.

In the case of 1-propanethiol (1-ProSH) and 1-hexanethiol (HeSH), the same procedure was followed as for BuSH and the same solvents were measured. In the case of 2-propanethiol (2-ProSH), the reaction in acetonitrile at 60 °C was not observed. In the case of ethanethiol (EtSH), due to its high volatility, the reactions were only monitored under mild conditions (25 °C).

Results and discussion

The reaction of 5-chloro-5,10-dihydrophenarsazine (and other arsenic compounds with an As-Cl bond) with thiols is a nucleophilic substitution that proceeds according to the scheme shown in Figure 2. The chlorine atom is replaced by an R-S- group and the chlorine atom is cleaved off and forms hydrochloric acid. It is advisable (in some cases necessary) to store thiols in the cold to reduce volatility - these are very malodorous substances. Storage in a refrigerated desiccator can be recommended.

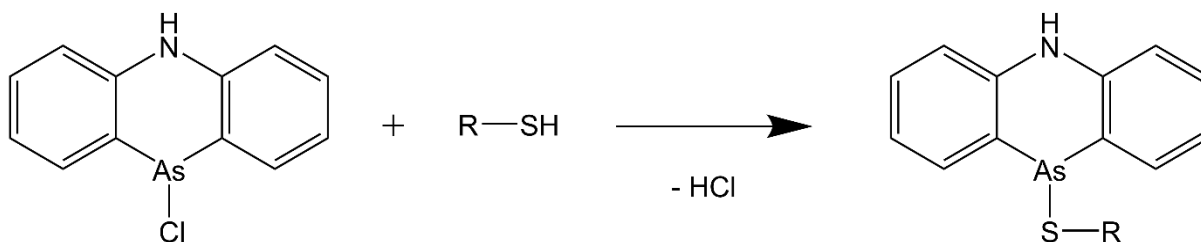


Figure 2 Thiolation of Adamsite

Adamsite solubility

The tested concentration of 2 mg/mL corresponds to a slightly soluble substance according to the scale of the indicated degrees of solubility. Nevertheless, it was not possible to create a solution in water and hexane from the tested solvents at the given concentration (these are very poorly soluble or practically insoluble systems). Solubility at the tested concentration was successful in acetonitrile, acetone, dichloromethane and ethyl acetate. Since both the most and the least polar solvents were equally unable to dissolve the substance, a direct dependence of solubility on the polarity of the solvent is not apparent. At the same time, all successful solvents are polar aprotic, water is polar protic, hexane nonpolar. Subsequent experiments were performed with successful solvents.

Derivatization by 1-butanethiol

During the reaction in acetonitrile at a temperature of 60 °C, 4 peaks were recorded in the chromatogram - 14.12 min (retention time (RI) 1320) corresponded to dibutyl disulfide, which was formed by the oxidation of BuSH. Peak intensity increased with increasing temperature, as well as with reaction time. The peak at retention time (RT) 18.27 min (RI 1659) corresponded to tributyl phosphate (internal standard), the peak at 23.48 min (RI 2179) was identified as tributyl arsenotrithiolite, which is a BuSH derivative of arsenic trichloride, probably a decomposition product of Adamsite. A BuSH derivative of Adamsite was recorded at 28.81 min (RI 2706).

Tributyl arsenotrithiolite was not found upon changing the solvent, nor upon derivatization in acetonitrile at 25 °C. In the case of the latter conditions, further in dichloromethane at 25 and 35 °C, only 3 peaks corresponding to the

analyte, internal standard and disulfide were recorded. In ethyl acetate (at 25 and 50 °C) the mixture of recorded substances was extended by 2 BuSH related products (RT 10.80 min, RI 1094 and RT 16.05 min, RI 1475). Figure 3 illustrates the mass spectra of the BuSH derivative of Adamsite alongside all other newly identified derivatization products using additional thiols.

Derivatization by 1-propanethiol

In dichloromethane, in addition to the internal standard, peaks were found at 11.15 min (RI 1117), which corresponded to dipropyl disulfide, and at 27.50 min (RI 2613), which corresponded to 1-ProSH derivative of Adamsite. After 60 minutes of reaction, the chromatographic background before the Adamsite derivative started to rise, so that the identification was complicated. In the case of 1-ProSH, however, acetonitrile was an unsuitable solvent. Before the adamsite derivative peak, the background began to increase significantly, a large broad peak was formed, which made quantification difficult. In addition to the previously mentioned substances, a peak of 1,3-bis(propylthio)propane (RT 30.86; RI 1915) was noted in the chromatograms. In the case of reactions in ethyl acetate, the chromatogram was not good-looking, in the RT interval 22 – 27 min a significant increase in the background was recorded, and at 13.51 min (RI 1278) there was a 1-ProSH related product. Apparently, it is not possible to use the thiol reagent preferred by a number of authors [19, 21-23] for the derivatization of organoarsenic toxic substances for the field GC/MS identification of Adamsite.

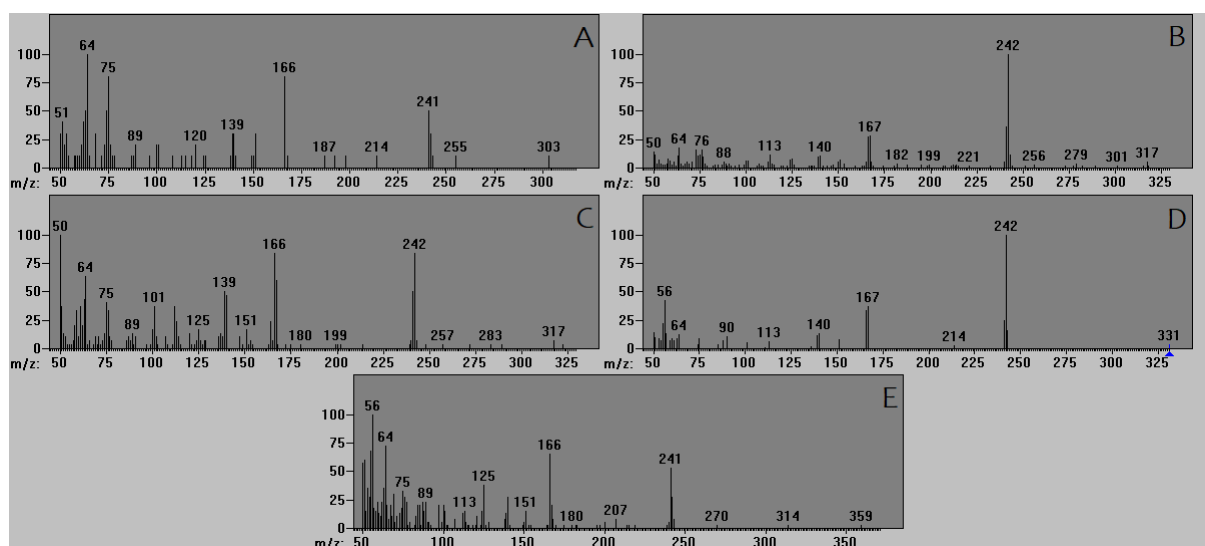


Figure 3 Mass spectra of thiol derivatives of Adamsite: EtSH (A), 1-ProSH (B), 2-ProSH (C), BuSH (D), HeSH (E).

Derivatization by 2-propanethiol

2-ProSH is the more volatile isomer of 1-ProSH. A peak identifying the oxidized reagent, bis(1-methylethyl)disulfide (RT 9.74 min, RI 1033) was noted

in acetonitrile. Furthermore, there were other artifacts in the chromatogram that would make identification in field conditions difficult. Derivatized Adamsite was noted at RT 26.84 min (RI 2563). However, it was associated with a peak at RT 25.83 min (RI 2462) that was again related to Adamsite. Moreover, from RT 23 min an increase in noise was evident and the results were unsuitable for identification. This phenomenon was then enormous in the environment of ethyl acetate. Dichloromethane could be identified as the best solvent, no artifacts characteristic of previous solvents were found in the extract. Again, derivatized Adamsite was noted in the double peak, but this is probably a shortcoming of 2-ProSH itself. As the temperature increased from 25 to 35 °C, the chromatographic background was increased. The disulfide of the original thiol was not found in dichloromethane.

Derivatization by ethanethiol

Ethanethiol is a relatively unsuitable reagent due to its very high volatility and strong resistant odor, which can be detected even in trace concentrations. The following substances were recorded in dichloromethane: At RT 7.94 min (RI 929) diethyldisulfide and also a double peak of derivatized Adamsite (RT 25.78 min, RI 2457 and RT 26.65 min, RI 2545). In addition, the identified Adamsite was characterized by a low signal-to-noise (S/N) ratio. In acetone, the peak of diethyl disulfide was very intense, in addition, 2 more EtSH related products were recorded at RT 5.37 min (RI 787) and RT 11.44 min (RI 1139). Increasing the reaction time increased the intensity of these artifacts in the chromatogram. Inappropriate results were also noted in ethyl acetate.

Derivatization by 1-hexanethiol

Due to its highest mass, HeSH had high retention and was recorded in the chromatograms (in acetonitrile RT 8.32 min, RI 949). Due to its high concentration in the solution, the acquisition of mass spectra in subsequent measurements was started 10 min after injection. Dihexyl disulfide, a HeSH oxidation product, was also found in acetonitrile at 18.96 min (RI 1730). The HeSH derivative of Adamsite was found at RT 32.19 (RI 2985), which is a relatively high value for field analysis. Significant peak broadening was associated with this high retention of substance in the column. In addition, an increased chromatographic background was noted in the region of RT 26 – 28 min. When the temperature increased from 25 to 50 °C, additional artifacts arose (a significant peak at RT 23.41 min, RI 2194, which came from HeSH related product) and the noise was significant from the 15th minute. The broad HeSH peak of the Adamsite derivative was encountered in all tested solvents. The best results in terms of number of artifacts and noise level were recorded using dichloromethane (25 and 35 °C) and acetonitrile at 25 °C. Several other interfering peaks were found in acetone, at 12.73 min (RI 1225), 14.83 min (RI

1379), 21.02 min (RI 1933), 22.09 min (RI 2045), and 22.99 min (RI 2146). In all cases, these were HeSH related products.

Figure 4 illustrates the comparison of the best methods for each thiol in the kinetic ramp curves. S/N ratios and peak area ratios of derivatized Adamsite and internal standard were taken into account during the selection. In terms of signal intensity, the hexanethio- derivatives of the investigated substance dominate significantly. It should also be mentioned that when short thiols are used, the reaction must be prolonged to maximize profit, while for longer thiols (BuSH, HeSH) 60 min of reaction is sufficient.

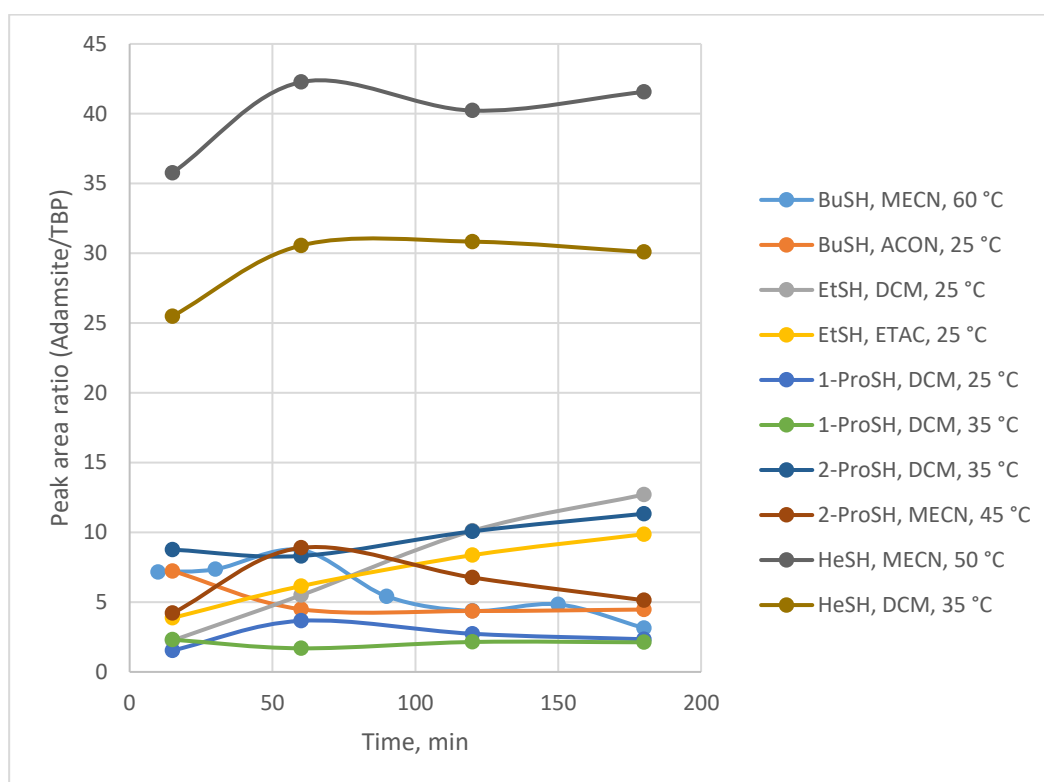


Figure 4 Kinetics of reactions of Adamsite with derivatizing agents in different media

Conclusions

It has been shown that Adamsite, which in its neat form has very unsuitable analytical properties, can be analyzed by gas chromatography. All investigated aliphatic thiols are able to convert the irritating substance into a more volatile derivative by nucleophilic substitution. Due to the large weight of the Adamsite molecule, the derivative has a relatively significant retention in the standard HP-5 phase of the column, and with the growing alkane chain of the reagent, it is necessary to adjust (especially extend) the chromatographic method. Aromatic thiols would thus be completely inappropriate reagents for field analysis.

The best results in terms of signal intensity and associated characteristics (detection limit, S/N ratio) were achieved using HeSH. However, the substance was significantly retained by the column (RI 2985) and the peak was broad.

A high RI is associated with the length of the method, which must be at least 35 minutes. However, the derivative was recorded with a significantly higher resulting signal even after 15 minutes of derivatization. For other reagents (BuSH comes into consideration), it is recommended to extend the derivatization time to 60 minutes. From the point of view of the minimum amount of chromatographic artifacts, BuSH was optimal.

In the next phase of the experiments, the calibration dependences of the detector response on the analyte concentration will be monitored with selected methods (with BuSH and HeSH in optimal conditions) and the developed procedures will be verified on environmental matrices contaminated with Adamsite.

References

[1] BEŁDOWSKI, J., M. BRENNER and K.K. LEHTONEN. Contaminated by war: A brief history of sea-dumping of munitions. *Marine Environmental Research*. 2020, **162**.

[2] BEŁDOWSKI, J., Z. KLUSEK, M. SZUBSKA, et al. Chemical Munitions Search & Assessment—An evaluation of the dumped munitions problem in the Baltic Sea. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*. 2016, **128**, 85-95.

[3] BEŁDOWSKI, J., M. SZUBSKA, E. EMELYANOV, et al. Arsenic concentrations in Baltic Sea sediments close to chemical munitions dumpsites. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*. 2016, **128**, 114-122.

[4] FRANCKEN, F. and A. M. HAFEZ. A Case Study in Modeling Dispersion of Yperite and CLARK I and II from Munitions at Paardenmarkt, Belgium. *Marine Technology Society Journal*. 2009, **43**(4), 52-61.

[5] CZUB, M., J. NAWAŁA, S. POPIEL, et al. Acute aquatic toxicity of arsenic-based chemical warfare agents to *Daphnia magna*. *Aquatic Toxicology*. 2021, **230**.

[6] RADKE, B., L. JEWELL, S. PIKETH and J. NAMIEŚNIK. Arsenic-Based Warfare Agents: Production, Use, and Destruction. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*. 2014, **44**(14), 1525-1576.

[7] FRANKE, S. *Lehrbuch der Militärchemie: Band 1*. 2nd ed. Berlin: Militärverlag der Deutschen Demokratischen Republik, 1977, 511 p.

[8] NAGARAJAN, V. a R. CHANDIRAMOULI. Adamsite and chloropicrin molecular adsorption studies on novel green phosphorene nanotube – First-principles investigation. *Chemical Physics*. 2020, **535**.

[9] HOOISCHUUR, E.W.J, C.E. KIENZT and U.A.Th BRINKMAN. Analytical separation techniques for the determination of chemical warfare agents. *Journal of Chromatography A*. 2002, **982**(2), 177-200.

[10] KINOSHITA, K., A. NOGUCHI, K. ISHII, A. TAMAOKA, T. OCHI and T. KAISE. Urine analysis of patients exposed to phenylarsenic compounds via accidental pollution. *Journal of Chromatography B*. 2008, **867**(2), 179-188.

[11] KONDO, T., R. HASHIMOTO, Y. OHRUI, R. SEKIOKA, et al. Analysis of chemical warfare agents by portable Raman spectrometer with both 785 nm and 1064 nm excitation. *Forensic Science International*. 2018, **291**, 23-38.

[12] NAGASHIMA, H., T. KONDO, T. NAGOYA, et al. Identification of chemical warfare agents from vapor samples using a field-portable capillary gas chromatography/membrane-interfaced electron ionization quadrupole mass spectrometry instrument with Tri-Bed concentrator. *Journal of Chromatography A*. 2015, **1406**, 279-290.

[13] STANAG 4632. *Deployable NBC Analytical Laboratory*. Brussels, Belgium: NATO Standardization Agency, 2005, 12 p.

[14] AEP-66. *NATO HANDBOOK FOR SAMPLING AND IDENTIFICATION OF BIOLOGICAL, CHEMICAL AND RADIOLOGICAL AGENTS (SIBCRA)*. Brussels, Belgium: NATO Standardization Office, 2015, 312 p.

[15] HANAOKA, S., K. NOMURA and T. WADA. Determination of mustard and lewisite related compounds in abandoned chemical weapons (Yellow shells) from sources in China and Japan. *Journal of Chromatography A*. 2006, **1101**(1-2), 268-277.

[16] SCHOENE, K., H.-J. BRUCKERT, H. JÜRLING and J. STEINHANSES. Derivatization of 10-chloro-5,10-dihydrophenarsazine (Adamsite) for gas chromatographic analysis. *Journal of Chromatography A*. 1996, **719**(2), 401-409.

[17] HAAS, R. Determination of chemical warfare agents: Gas Chromatographic analysis of chlorovinylarsines (Lewisite) and their metabolites by derivatization with thiols. *Environmental Science and Pollution Research*. 1998, **5**(1), 2-3.

[18] SZEKERES, L.I., B. GYURCSIK, T. KISS, Z. KELE and A. JANCSÓ. Interaction of Arsenous Acid with the Dithiol-Type Chelator British Anti-Lewisite (BAL): Structure and Stability of Species Formed in an Unexpectedly Complex System. *Inorganic Chemistry*. 2018, **57**(12), 7191-7200.

[19] HANAOKA, S., E. NAGASAWA, K. NOMURA, M. YAMAZAWA and M. ISHIZAKI. Determination of diphenylarsenic compounds related to abandoned chemical warfare agents in environmental samples. *Applied Organometallic Chemistry*. 2005, **19**(2), 265-275.

[20] MUIR, B., S. QUICK, B.J. SLATER, et al. Analysis of chemical warfare agents. *Journal of Chromatography A*. 2005, **1068**(2), 315-326.

[21] HAAS, R. and A. KRIPPENDORF. Determination of chemical warfare agents in soil and material samples. *Environmental Science and Pollution Research*. 1997, **4**(3), 123-124.

[22] TORNES, J., A. OPSTAD and B. JOHNSEN. Determination of organoarsenic warfare agents in sediment samples from Skagerrak by gas chromatography-mass spectrometry. *Science of The Total Environment*. 2006, **356**(1-3), 235-246.

[23] NIEMIKOSKI, H., M. SÖDERSTRÖM, H. KILJUNEN, A. ÖSTIN and P. VANNINEN. Identification of Degradation Products of Sea-Dumped Chemical Warfare Agent-Related Phenylarsenic Chemicals in Marine Sediment. *Analytical Chemistry*. 2020, **92**(7), 4891-4899.

Mailing address: CPT Tomas Rozsypal, PhD, Assistant Professor, Nuclear, Biological and Chemical Defence Institute, University of Defence, Václav Nejedleho 1, Vyskov, Czech Republic, E-mail: tomas.rozsypal@unob.cz

DOI: 10.34660/INF.2023.75.11.004

**ИЗПОЛЗВАНЕ НА ДАННИ ОТ ДИСТАНЦИОННО
СЛЕДВАНЕ НА ЗЕМЯТА ЗА ОЦЕНКА НА РИСКОВЕТЕ ЗА
ОКОЛНАТА СРЕДА ПРИ ВОЕННИ ДЕЙСТВИЯ**

Татяна Маглована,

**USE OF EARTH REMOTE SENSING DATA FOR ASSESSING
ENVIRONMENTAL RISKS UNDER MILITARY ACTIONS**

Tetiana Mahlovana

***Abstract:** The paper presents an analysis of the statistical data of forest fires in Ukraine for 2022. A sharp increase in the number of fires in natural ecosystems with the outbreak of hostilities in Ukraine is shown. Fires in natural ecosystems, both an indirect consequence of hostilities and deliberate tactics, have tragic consequences for biodiversity and human populations. Fires in radioactively contaminated areas are especially dangerous, since along with the main negative factors of a fire, there is also a radiation factor. Due to the high pollution of the soils of the Chornobyl Exclusion Zone, forest fires and hostilities in this territory can lead to tragic consequences.*

***Key words:** forest fires, radioactively contaminated territories, forest ecosystems, radioactive contamination, migration of radionuclides.*

The urgency of the problem.

The war divided the life of the entire Ukrainian people into before and after. As a result of hostilities, industrial facilities, transport infrastructure, residential buildings, water supply and sanitation facilities were destroyed, numerous incidents related to atmospheric air pollution and potentially serious pollution of ground and surface waters were recorded.

In addition, pollution from the widespread use of weapons, including in populated areas, large volumes of military waste and destroyed equipment pose a serious environmental problem.

As a result of the armed invasion of the Russian Federation on the territory of Ukraine, the number of forest and other landscape fires increased, resulting in the death and injury of civilians, forestry workers and rescuers. Military action causes wide-ranging damage, with immediate and long-term effects on human health and ecosystems [1].

Results and discussion.

The analysis of fires on the territory of Ukraine was performed on the basis of data from the information service FIRMS (Fire Information for Resource

Management System) of NASA and the European Forest Fire Information System (EFFIS) [2, 3].

The satellite remote sensing data of two types of sensors were used: VIIRS (Visible Infrared Imaging Radiometer Suite) and MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) [2].

VIIRS is installed on two satellites: the US NOAA-20 non-geosynchronous environmental satellite, which is part of the Joint Polar Satellite System for weather forecasting and climate monitoring, and the Suomi NPP satellite, which belongs to the US National Oceanic and Atmospheric Administration. VIIRS fire layer shows active detection and thermal anomalies to study the spatial and temporal spread of fire, and search for hot spots to identify the source of smoke pollution.

VIIRS data makes it possible to detect fires in real time. The VIIRS Fire and Thermal Anomalies product is available on the NASA/NOAA shared Suomi-National Polar-orbiting Partners (S-NPP) and NOAA-20 (JPSS-1) satellite. Remote monitoring tools of the MODIS type are installed on the Terra and Aqua (EOS AM-1) satellites, transnational research satellites in a sun-synchronous orbit around the Earth, which are controlled by NASA [2]. MODIS data show active fire detection centres and thermal anomalies to identify the source of air pollution from smoke, which can adversely affect human health.

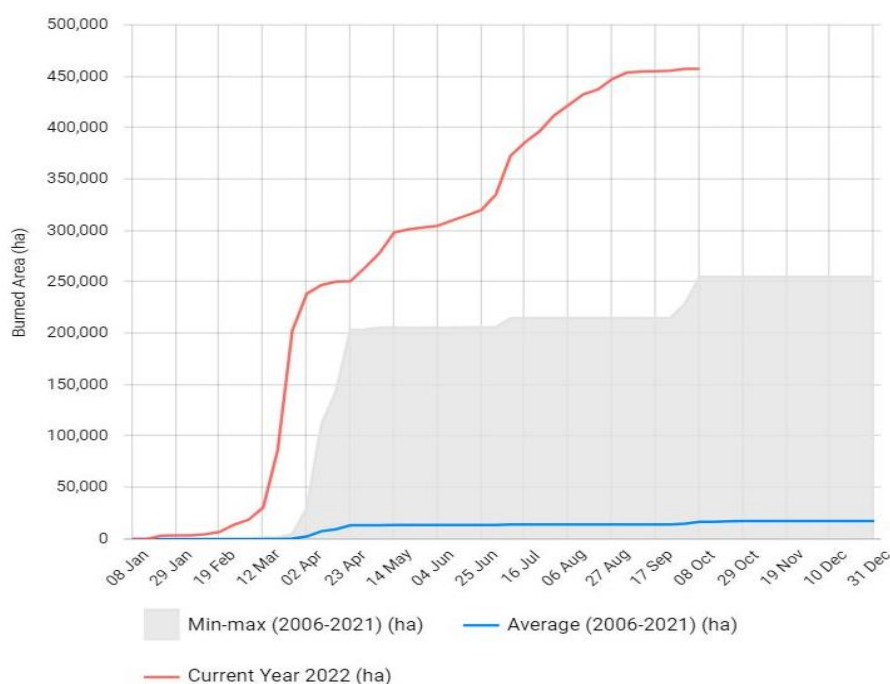


Fig. 1. – Areas covered by fire in the territories of Ukraine according to EFFIS

The MODIS Fire and Thermal Anomalies product is available from the Terra (MOD14) and Aqua (MYD14) satellites, as well as the combined Terra and Aqua (MYD14) product. The Terra orbit (MYD14) passes the equator from north to south in the morning, and Aqua (MYD14) orbit passes the equator from south to

north in the afternoon, which increases the scan density and the reliability of fire parameters estimation. Thermal anomaly data from the Aqua and Terra satellites (MODIS spectroradiometer) are downloaded using free NASA reference materials at regular intervals [2].

According to preliminary data from the EFFIS, from January to October 2022, more than 450,000 hectares of vegetation were damaged or destroyed on the territory of Ukraine as a result of fires, which is almost 30 times more than the average for the last 15 years (Fig. 1) [3].

In early March, a few days after the Russian invasion, there is a sharp increase in the number of areas covered by fire (Fig. 1), while there is also a sharp increase in the number of weekly fires with the highest rates in March 2022 (Fig. 2) [3].

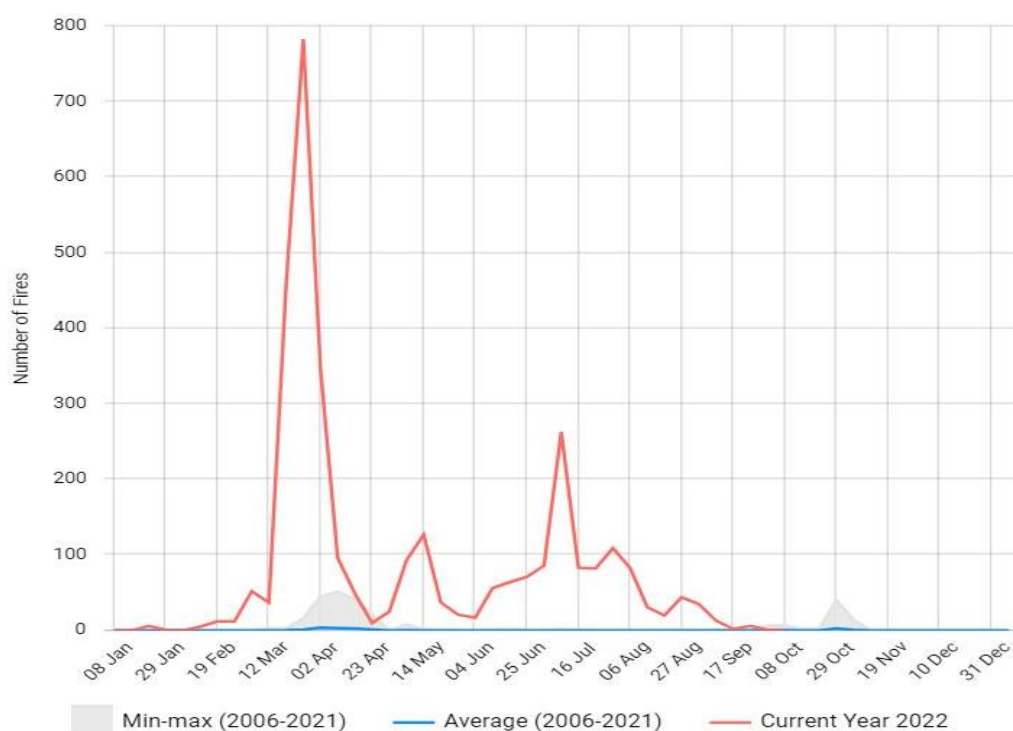


Fig. 2. – Weekly number of fires in Ukraine according to EFFIS

Fires in radioactively contaminated areas are especially dangerous, since along with the main negative factors of a fire, there is also a radiation factor [4,5].

Due to the high soil pollution of the Chernobyl Exclusion Zone, wildfires are a constant safety issue [4].

As a result of such fires, the migration capacity of pre-forming radionuclides increases. This can cause an increase in uncontrolled dose load on the environment and people under conditions of increased mobility of radionuclides, which leads to contamination of food chains [5].

Forest fires in the cold season are an atypical phenomenon for the Chernobyl Exclusion Zone.

But, due to the seizure of the territory of the Chernobyl Exclusion Zone, the risks of deterioration of the radiation state have significantly increased, both in the exclusion zone itself and outside it

Fire areas in the period from March 11 to 18, 2022 were observed mainly in the western and central parts of the Chernobyl Exclusion Zone. On March 11, 2022, the main fire areas were recorded near settlements of Poliske, Stechanka, Bober, and Pukhove. From March 12 to 15, no major fires were recorded. On March 16, forest fires resumed in the Poliske – Kotovske district, and broke out near the village of Korolivka (Fig. 3) [2].

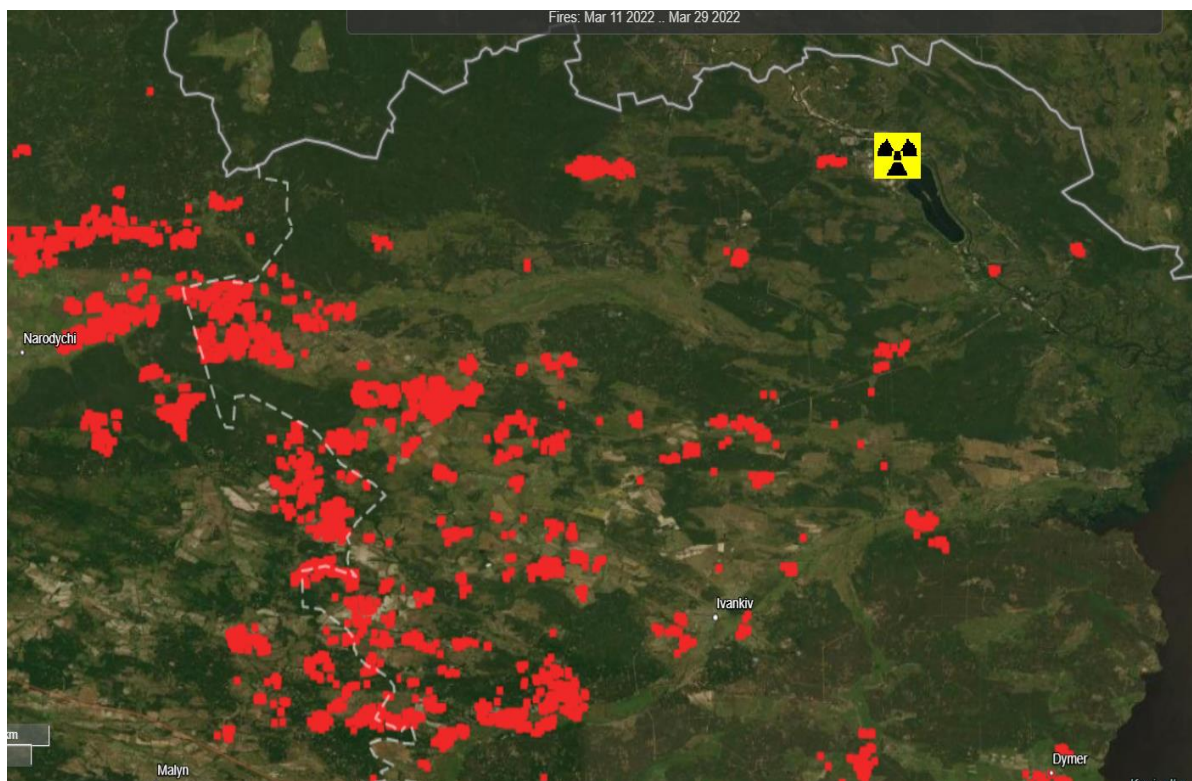


Fig. 3. – Active fire points from March 11 to March 29, 2022

On March 17, a fire in the Poliske region spread northeast to the village of Rudnya-Grezlyanska and continued the next day. In addition, new cells have emerged in the area of village Tarasy and in the radioactively contaminated area outside the Chernobyl exclusion zone near the village of Novomoskovsk [2].

From March 17-18, the distribution continued west. According to the FIRMS homepage on March 19, 2022, fires continued within the Chernobyl Exclusion Zone (near Rudnya-Grezlyanska and Tarasy, Vlodimirovka, October), as well as in the radioactively contaminated area outside the Chernobyl Exclusion Zone near the village Khristinivka, Zhytomyr region (Fig. 3) [2].

During March 26, 2022, only a small fire near Poliskex was recorded and fires resumed near the Shelter Object on March 27. The cessation of rain showers in the late afternoon and evening of March 27 led to more intense fires in this area the next day [2].

The fires in the near exclusion zone, where insoluble highly active particles of radioactive elements are preserved in the soil, pose the greatest danger [6–7]. Because of fires, vegetation dies, its root system no longer absorbs radionuclides in the root layer of the soil, and mobile forms of radionuclides, while interacting with the components of the soil complex, are redistributed along the soil profile due to vertical migration processes. This leads to a change in the migration mobility of ^{137}Cs and ^{90}Sr in the upper soil layer [4]. Moreover, radioactive particles are formed because of wood ashing products and forest leaf litter that have aerodynamic properties and that are carried by wind currents over significant distances (over 100 km).

On March 28, 2022, probably as a result of a terrorist act, a large-scale fire broke out in the occupied territory of the Red Forest, 2 km from the emergency 4th power unit of the Chernobyl nuclear power plant, which covered an area of about 200 hectares within 4-5 hours (Fig. 4) [2].

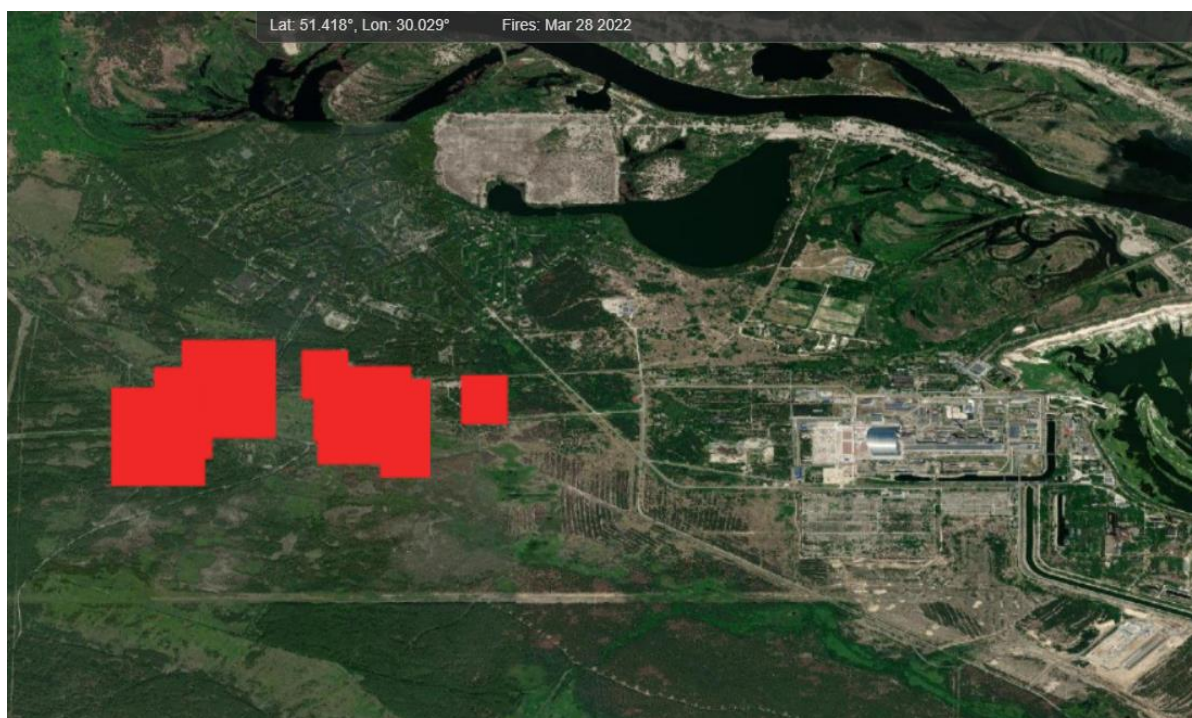


Fig. 4. – Points of active combustion in the near zone of the Chernobyl nuclear power plant as of March 28, 2022

The fire broke out in a zone of extremely high contamination with radionuclides of cesium-137, strontium-90, americium-241, plutonium isotopes. This is about 10 km of the territory of trees adjacent to the Chernobyl nuclear power plant, which took on the largest amount of radioactive dust emissions during the reactor explosion in 1986. A high dose of absorbed radiation led to the death of trees (mainly pines) and their coloration in a brownish-red color. During the decontamination works, the forest was demolished by bulldozers and buried in a radioactive waste storage facility [8].

On March 28, 2022, three hotbeds of active burning were recorded (1.03 km², 0.73 km² and 0.12 km²) with a total area of 1,88 km² (Fig. 4) [2, 9].

The resumption of heavy rainfall in the evening of March 29 led to an almost complete cessation of fires March 30 – 31, 2022 [2, 10].

Using the Copernicus remote monitoring tools, satellite images of the fires in the Red Forest were obtained (Fig. 5).

Thus, from 11 to 31 March 2022 fires covered more than 1000 km² of radioactive contaminated lands of Ukrainian Polissya, including the most contaminated forests and meadows of the Western Heritage in Narodychi and Polisske districts (Fig. 2).



Fig. 5. – Space image of the fire in the "Red Forest" as of March 28, 2022 obtained using Copernicus remote monitoring tools

Combustion products were transferred in the southeast direction on March 27, and March 28 – 29 to the east [2, 10].

Modelling results suggest that Ukrainian regulatory limit for 137Cs air pollutions of not been exceeded, but significantly more heavy consequences can be in the case of fires affecting waste dumps and/or waste storages [10].

But the worst case, forest fires could directly impact the nuclear facilities at Chernobyl Exclusion Zone which could result in practically unpredictable consequences.

Conclusions.

As a result of hostilities, more than 30% of all protected areas of Ukraine were affected. The forests have been destroyed by fire as a result of shelling and misuse, many of them are littered with military equipment.

As a result of the use of weapons, serious negative consequences are inevitable, which can lead to acute and long-term consequences for health and the environment.

Direct public health risks are associated both with exposure to hazardous substances contained in munitions residues, which release toxic substances into the soil and affect the quality of surface and groundwater, and with interference in the operation of nuclear facilities.

The military occupation of the Chernobyl Exclusion Zone [11], the breakdown of power lines and the de-energization of the facilities of the Chernobyl exclusion zone, the destruction of radiation monitoring networks, the obstruction of access for firefighters - all these are clear violations of the international regulatory framework for nuclear safety [12-13].

Whereas nuclear power plants and other nuclear installations, in accordance with Article 56 of the Additional Protocol to the Geneva Conventions of 12 August 1949 for the Protection of Victims of International Armed Conflicts (Protocol I) of 8 June 1977, not intended for the conduct of hostilities and are not subject to attack [12].

References

1. Ministry of the Environmental Protection and Natural resources (2022), "Damage to natural reserves and protected ecosystems, <https://mepr.gov.ua/en/news/39144.html>
2. <https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov/>
3. <https://effis.jrc.ec.europa.eu/>
4. Final Report Assessment of the Distribution of Radionuclides and Impact of Industrial Facilities in the Chernobyl Exclusion Zones under the GEF project "Conserving, Enhancing and Managing Carbon Stocks and Biodiversity in the Chernobyl Exclusion Zone" Reporting period 01 November 2017 – 31 March 2018.
5. Maglyovana T., Dolin V., Wambol S., Yakovlev E. The use of aerospace technologies to assess the radioecological consequences of forest fires in radioactively contaminated areas // Proceedings of the VI International Conference "Radiation Safety in the Modern World", Veliko Tarnovo, Bulgaria. November 18-19, 2021 - Pp. 70-81.
6. Kashparov V.A., Lundin S.M, Kadygrib A.M. et al. Forest fires in the territory contaminated as a result of the Chernobyl accident: radioactive aerosol resuspension and exposure of fire-fighters // J. of Environmental Radioactivity. - 2000. - Vol. 51. - P. 281 - 298.

7. Yoschenko V.I., Kashparov V.A., Levchuk S.E. et al. Resuspension and redistribution of radionuclides during grassland and forest fires in the Chernobyl exclusion zone: part II. Modeling the transport process // J. of Environmental Radioactivity. - 2006. - Vol. 87, Iss. 3. - P. 260 - 278.

8. Dolin V. Nuclear Threats from Russian Attack are more Dangerous than Nuclear Missiles <https://www.researchgate.net/publication/359158474>

9. <http://nkrzu.gov.ua/20-kat-informatsiia/1630-informatsiia-shchodopozhezh-na-radioaktyvno-zabrudnenykh-terytoriiakh-stanom-na-29032022>

10. Nosovskyi A. V., Shestopalov V. M., Shybetskyi I., Krone J. Nuclear Threat Resulting from Russian Military Occupation of Chornobyl Exclusion Zone Environment and Safety - 2022. - Vol. 67. - P. 36 - 46.

11. <https://www.science.org/doi/epdf/10.1126/science.abq2800>

12. Protocol Additional to the Geneva Conventions of 12 August 1949, and relating to the Protection of Victims of International Armed Conflicts (Protocol 1)

13. INFCIRC/274/Rev.1/Mod. 1 (Corrected) Date:18 October 2021

Адрес за кореспонденция:

Tetiana Mahlovana, Dr.Sc., Assoc. Prof. (State Ecological Academy of Postgraduate Education and Management, Kyiv, Ukraine)

DOI: 10.34660/INF.2023.67.29.005

СЪДБАТА НА НЕРВНОПАРАЛИТИЧНИЯ АГЕНТ VX В ГРАДСКИ МАТРИЦИ: ПРЕГЛЕД

Ондрей Карес, Томас Розипал

FATE OF NERVE AGENT VX IN URBAN MATRICES: A REVIEW

Ondrej Kares, Tomas Rozsypal

***Abstract.** This review summarizes and compares reported behavior of VX, the most prominent V-series chemical warfare agent, in various urban matrices - concrete, asphalt, bitumen, glass, steel and marble. The fate of VX includes unit processes such as evaporation, chemical reaction (degradation), migration (surface spilling and pore penetration), adsorption, desorption, absorption and/or dissolution.*

***Keywords:** Chemical warfare agent (CWA); Nerve agent; VX; Fate; Urban matrix; Concrete; Asphalt; Degradation; Evaporation.*

1. Introduction

Although the Chemical Weapons Convention prohibited use, development, production, stockpiling and transfer of chemical warfare agents (CWAs) in 1997, those substances have been reported to take part in several infamous occasions in the last decades. The Tokyo subway sarin terrorist attack in 1995 [1], the VX assassination of Kim Jong-un in Malaysia, 2017 [2] or the alleged novichok assassination attempts of the Skripals in UK, 2018 and Alexei Navalny in Russia, 2020 [3] belong amongst the most notable examples of recent civilian CWA misuse. Because of such incidents, a thorough research in the field of CWAs does provide ground for the improvement of both military and civilian risk and safety management.

In this review, we focused on the nerve agent VX and its behavior after an interaction with various urban matrices which might be the case following a potential military chemical attack in an urbanized area.

2. Nerve agent VX

S-[2-(diisopropylamino)ethyl] *O*-ethyl methylphosphonothioate (commonly abbreviated as VX) is the most prominent representative of the V-series nerve agents and is used as a model for the V-series nerve agents which are very similar in terms of chemical composition and properties.

VX (Figure 1) is an extremely toxic substance with estimated lethal dose $LD_{50, \text{human}}$ (percutaneous, liquid) $\sim 140\text{-}850 \mu\text{g kg}^{-1}$ and lethal concentration $LCt_{50, \text{human}}$ (inhalation, vapor) $\sim 15\text{-}40 \text{ mg min m}^{-3}$ [4]. Moreover, the persistence in the environment plus its low volatility [5] qualifies VX as one of the most hazardous CWAs. VX is highly adsorptive on surfaces owing to its molecular size and reactive functional groups [6]. Solubility in water is approximately 30 g per 100 g at 25 °C [7] and the substance is very well miscible with organic solvents. VX easily penetrates porous materials. Spontaneous decomposition is very slow. It is the most stable nerve agent.

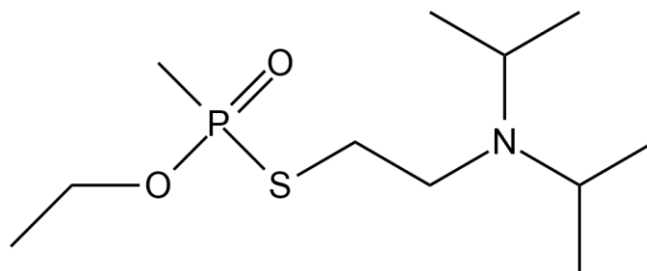


Figure 5 S-[2-(diisopropylamino)ethyl] *O*-ethyl methylphosphonothioate structure

Research on behavior of VX in real matrices

Since the 1970s, numerous articles have been published focusing on the fate of VX within nonliving environmental matrices (water, soil, sand, rock) [8, 9]. On the other hand, the study of VX behavior in urban matrices (concrete, asphalt, bitumen, steel, glass, marble) had not become the subject of extensive research until the 2000s. However, recent chemical attacks in urban areas during the Syrian civil war [10] clearly demonstrated that these are current types of samples which need to be well researched. Despite the complex nature and heterogeneity of real samples of urban matrices result in extremely variable data [8], those matrices are omnipresent and proper research is vital in order to minimize hazard from their dreaded misuse.

VX within urban matrices has been studied primarily in terms of its evaporation, degradation (both environmental and by intentional decontamination) [11, 12], migration [13] and persistence. The experimental setup comprised contamination of a defined urban matrix by neat or diluted VX and measurement of its vapor concentration plus detection of VX and its degradation products via spectrometric or spectroscopic methods after a chosen preparation of the sample.

Behavior of VX within concrete

Groenewold *et al.* [14] reported that VX degraded on concrete surface to form ethylmethylphosphonic acid (EMPA), diisopropyl taurine (DIPT) and diisopropylaminoethanethiol (DESH) by cleavage of the P-S bond and diisopropylvinylamine (DIVA) (or its isomer) by cleavage of the S-C bond. Additionally, DESH secondarily degraded to form bis(2-diisopropylaminoethyl)disulfide [(DES)₂] [14] via dimerization [11]. They also found out that the degradation products derived from thiolamine (DIPT, DESH, (DES)₂) can be extracted by isopropyl alcohol, whereas DIVA was proven to strongly adsorb to the concrete surface and could not be easily removed. Therefore, IT-SIMS (ion trap secondary ion mass spectrometry) which they used for detection was established to be a more convenient method of identification of VX and its degradation products on concrete surfaces than the conventional analytical protocols using extraction and latter gas chromatography with mass spectrometry (GC/MS). Overall, the research group observed VX to degrade on the surface of crushed concrete and irregular concrete chips within one day at room temperature and compared it to its behavior on soil particles where VX remained unaltered for several months (although at 4 °C) [14].

In 2001, Wagner *et al.* [15] published their first work on the fate of VX in concrete. They measured the rate of sorption and the rate of degradation of VX in crushed aged concrete using phosphorus-31 nuclear magnetic resonance (³¹P NMR) technique. The half-life of sorption was determined to be about 2 minutes and VX was postulated to form VX·H₂CO₃ species within the concrete matrix which could contribute to its persistence. The kinetics of degradation was observed to consist of two distinct phases – initial fast reaction followed by slower steady-state reaction. It was calculated that the concrete surface exhibits reactive capacity of about 1 monolayer which is attributed to the initial fast reaction with half-life of 2.2 hours and rate constant $k = 0.0053 \text{ min}^{-1}$ at room temperature. Any excess VX applied to the concrete sample will persist much longer, with the half-life of 28-90 days. The degradation products EMPA, DESH and (DES)₂ were reported to evaporate much faster than the remaining VX during the decomposition reaction. There was no evidence of toxic S-[(2-diisopropylamino)ethyl] methylphosphonothioic acid (EA-2192) degradation product [15]. Unfortunately, ³¹P NMR detected neither DIPT nor DIVA degradation products which had previously been detected by IT-SIMS by Groenewold *et al.* [14] which puts the reported absence of EA-2192 into question.

Later, Groenewold *et al.* [16] expanded their research by determination of VX hydrolysis kinetics on fresh concrete surface using IT-SIMS again. The degradation reaction was reported to be first-order or pseudo-first order with the half-life of about 3 hours and the rate constant $k = 0.005 \text{ min}^{-1}$ at 25 °C. No observation of toxic EA-2192 was made by this research group neither, but the

authors admit that this could have been caused by “anion exchange and incorporation of the phosphonate into the ionic mineral matrix of the concrete”. Unlike Wagner *et al.* [15], Groenewold’s research group did not observe a bimodal VX concentration decay plot, probably attributed to the homogeneous dilute solution used compared to Wagner’s heterogeneously applied neat VX. The degradation reaction was observed in the temperature range of 24-50 °C and the activation energy was determined to be 52 kJ mol⁻¹ which is in reasonable agreement with previously studied hydrolysis of VX in alkaline solutions by Yang *et al.* [17] reporting the overall activation energy as 60-63 kJ·mol⁻¹ [16]. Therefore, the paper suggests that surface (submonolayer) decomposition of VX takes place via alkaline hydrolysis within the probable water film on concrete surface and with its pores [16].

Wagner *et al.* [18] focused on the effect of VX drop size on the degradation in concrete. The research demonstrated that smaller drops of VX react considerably faster on the concrete surface than larger drops. The authors explain this by a limited number of basic sites within the monolayer of a concrete surface which the spread VX comes into contact with. In addition to that, higher pH (freshness) of concrete and higher mobility of adsorbed VX were also identified to speed up the degradation process.

Williams *et al.* [19] further focused on determination of degradation kinetics of VX on concrete using IT-SIMS. The rate of degradation reaction increased with surface pH and temperature. It is claimed that degradation of larger quantities of VX would have proceeded at a slower rate which agrees with data published by Wagner *et al.* [18]. This work also reported the presence of diisopropylaziridinium (DIAZ) degradation product proving the existence of secondary degradation of DESH via cleavage of the S-C bond. This also furthered the claims made previously by Groenewold *et al.* [14] who identified DIAZ species as DIVA (“diisopropylvinylamine or its isomer”). Finally, Williams *et al.* [19] claimed that minute amount (<0.5 mg m⁻²) of VX contamination on a concrete surface would degrade completely in five days at room temperature and therefore would not create a hidden source of poison release. On the other hand, large amounts of VX contamination of concrete would pose a serious long-term hazard [19-21] which matches the findings made by Wagner *et al.* [18].

Waysbort *et al.* [22] designed a special climatic chamber with adjustable temperature, humidity and air speed for the evaluation of long-term evaporation of VX from solid matrices using solid state magic angle spinning nuclear magnetic resonance (SS ³¹P MAS NMR) spectroscopy for the analyses. Columbus *et al.* [23] – the same research group as Waysbort *et al.* [22] – thoroughly studied evaporation and degradation of VX on common matrices including fresh concrete in the aforementioned climatic chamber. The initial concentration of VX above concrete was about 3-7 times smaller than above asphalt and the concentration

rapidly decreased within 4 days while only 9 % of VX was collected in vapor. The authors listed two explanations for this phenomenon: 1) strong adsorption of VX on the concrete causing slow evaporation and challenging extraction; 2) degradation of VX on basic sites of the concrete. Finally, VX volatilization from a commercial sidewalk brick with added red pigment (iron oxide) was measured for comparison. The course of VX concentration decay was observed to be smaller than within 'regular' concrete and 33 % of VX vapor was recaptured which the authors attributed to the low cement content in sidewalk bricks (~10-20 %) compared to ~90 % in 'regular' concrete.

Jung and Choi [8] further investigated evaporation and degradation of VX in fresh concrete in a wind tunnel. They used silver fluoride pad on the vapor sampling inlet in order to convert VX vapor to ethyl methylphosphonofluoridate (EMPF) with higher volatility. EMPF was later desorbed from thermal desorption tubes and analyzed using gas chromatography (GC) with flame photometric detector (FPD) in the phosphorus mode. VX and its degradation products remaining within the concrete samples were extracted by ethyl acetate. Their results stated that the evaporation rate of VX from concrete is approximately 5 times slower than from glass. Moreover, evaporation also increased with increasing temperature and with decreasing water-cement (w/c) ratio of the concrete mix formula. In terms of the degradation reaction, the half-life of VX on concrete was reported as 3 days (w/c = 0.50) at room temperature. Degradation products detected were EMPA, DESH and (DES)₂ as in the other reports, but in addition to those included ethyl methylphosphonothioic acid (EMPT) and methylphosphonic acid (MPA). According to Wagner and Fry [24], degradation products EMPA and MPA can strongly bind to concrete and are very difficult to extract from it.

Flytzani-Stephanopoulos and Schmidt [25] postulated that evaporation rate from a smooth surface is higher than from a rough one. Applied to our subject of interest, with increasing surface roughness VX evaporation from concrete decreases. Additionally, increased roughness of concrete generally means increased surface area per mass unit of concrete, and therefore increased number of exposed basic sites on the concrete surface enabling the fast degradation process of VX.

Behavior of VX within asphalt

Waysbort *et al.* [22] were the first to tackle the evaporation of VX from asphalt road samples in their novel climatic chamber. An elaborate extraction procedure using methanol, CHCl₃ and CCl₄ solvents was followed by analysis via ³¹P NMR spectroscopy. The reported VX vapor reacquisition was 30 % of the applied mass with the triexponential association kinetics and rate constants varying from 2.2 h⁻¹ to 0.03 h⁻¹. Desorption comprised two distinct phases – the

fast phase (half-life 1-2 hours) accounted for 96 % of the adsorbed VX and the slow terminal decay (half-life 10 hours) which may be caused by time-dependent binding process of VX to asphalt. The experiments were conducted in both dry and humid air and the authors admit that water vapor molecules can compete with VX for the adsorption sites on the inner walls of the chamber and thus accelerating its desorption. Furthermore, 1-6 % of applied VX was detected within the asphalt and 30 % was hydrolyzed after 11 days. The remaining ~35 % of VX mass was not found and probably remained bound and non-extractable within the matrix. The products of hydrolysis were EMPT, EMPA and importantly and unlike in concrete – the toxic *S*-(2-*N,N*-diisopropylaminoethyl)methylphosphonothioic acid (EA-2192).

Mizrahi and Columbus [26] studied VX degradation in milled asphalt via ^{31}P MAS NMR. There was a 10-day delay between the application of VX on asphalt and the start of degradation reaction which corresponds to absorption of VX taking place. Such absorption is vital for the degradation to occur and could imply an autocatalytic reaction mechanism. It is rather postulated that sand, rock and whitewash components of asphalt are the active sites for VX degradation. The bitumen component of asphalt serves as solvent for VX and hides it from the active sites and causing delay in VX degradation. Finally, it was discovered that newly ground asphalt degrades VX at a slower rate than old asphalt.

Gura *et al.* [5] approached the investigation of VX fate inside asphalt by introducing a novel method for extraction of absorbed VX. The recovery of VX from the bitumen component of asphalt was explored by use of various solvents – carbon disulfide, cyclohexane, THF, trichloroethylene and toluene. All the solvents behaved similarly; carbon disulfide had the lowest recovery (5.2 %) and toluene and cyclohexane had the highest VX recovery (7.3 %). The optimized procedure included toluene dissolution of bulk asphalt and precipitation of bitumen by basic methanol treatment. Surface VX was extracted by methanol only. The samples were analyzed by gas chromatography with nitrogen-phosphorus detector (GC-NPD). VX on asphalt surface was observed to decay in a single-exponential manner. VX inside asphalt, however, increased during the first day after contamination and then steeply decreased within two weeks down to 5 % of the original amount. This fast decay was followed by a slow bi-exponential decline of the remaining VX which lasted 425 days with the half-life of 14 days. The formation of (DES)₂ degradation product was reported in this study.

Columbus *et al.* [23] conducted volatilization experiments with VX on asphalt at 20 °C and 40 °C. The results displayed the courses of VX concentration decay in air as bi-exponential curves. Using methanol extraction, only 45 % (at 20 °C) and 60 % (at 40 °C) of the remaining VX was accounted for. Despite further toluene treatment of the bituminous component of asphalt, mass balance

of VX was not satisfactorily achieved because of absorption/dissolution of VX in the bitumen phase plus VX degradation.

Behavior of VX within bitumen sheets

Besides concrete and asphalt, Mizrahi and Columbus [26] also contaminated and observed VX on polymer-modified bitumen sheets (used as roof tiles). Similarly to asphalt, bitumen was also attributed to absorb VX and exhibited an initial degradation delay. Even 42 days after contamination, VX was detected in bitumen. The resemblance of asphalt and bitumen behavior indicated that the bitumen component within asphalt is responsible for the degradation of VX.

Columbus *et al.* [23] used two types of polymer-modified bitumen sheets – 1) for roofs (aggregate upper layer) and 2) for insulation (sand upper layer) and performed volatilization experiments at 20 °C and 40 °C. Compared to asphalt, evaporation from bitumen sheets lasted much longer (order of months) and the effect of temperature was very small. Nonetheless, the research group blamed the upper layer of bitumen sheets (aggregate and sand) to behave as a barrier for secondary evaporation. In conclusion, VX in bitumen is believed to dissolve, thus acting as a source of VX slow release for a very long duration.

Behavior of VX within glass

Mizrahi and Columbus [26] reported that only 60 % of applied VX was recovered in the form of vapor from a glass surface.

Williams *et al.* [19] used glass as a reference substrate to verify the effect of basic concrete matrix. Degradation of VX on glass either did not occur or occurred at a rate which was many orders of magnitude slower which was deducted from the absence of the degradation product DESH. Glass practically behaved as an inert matrix in this experimental setup.

In contrast, however, Brevett *et al.* [27] claimed that VX in fact does undergo significant degradation on glass, albeit much slower than degradation on concrete. The amount of VX was reported to diminish in 4 days to only 14 % of its original value, 75 % to transform into EMPA and the remaining 11 % was attributed to evaporation, non-extractable adsorption to matrix and potential conversion to other undetected products [13].

In the BlueBook [28], which recommends procedures for the identification of chemical warfare agents (including degradation products) in various matrices, it is recommended not to concentrate organic extracts with potential VX content to dryness, since this substance is firmly adsorbed to a glass surface.

Behavior of VX within stainless steel

Waysbort *et al.* [22] used inert polished stainless steel as a material for their climatic chamber recovering more than 95 % of applied VX at 40 °C. This preliminary experiment proved the climatic chamber suitable for volatilization experiments as steel matrix does not significantly adsorb VX which would disturb VX mass balance.

Behavior of VX within porcelain and marble smooth surface tiles

Columbus *et al.* [23] also studied volatilization profiles of VX at 40 °C within smooth surface tiles made of three materials – matt granite porcelain, shiny granite porcelain and chevron marble. VX evaporation lasted for 3-4 days, and the vast majority of the original VX was recovered in the vapor form (87-93 % for chevron marble). Initial evaporation from both porcelain types was faster than from marble which can be explained by their lower porosity compared to marble.

3. Conclusion

VX has been identified to degrade rather fast within concrete, owing to its basic sites and high porosity. Degradation of VX within asphalt and bitumen sheets is slower and the matrices were even reported to absorb/dissolve VX, shading it from degradation sites. Surprisingly, glass was also observed to contribute to VX degradation. On the other hand, marble and stainless steel practically acted as inert matrices. It is also important to distinguish between degradation on the surface and degradation in the bulk of a matrix which are often described by completely different kinetic models.

Degradation products within concrete include non-toxic EMPA, MPA, DIPT, DIVA/DIAZ, DESH and (DES)₂. VX was also attributed to form a stable VX·H₂CO₃ species. However, degradation products in asphalt comprise non-toxic EMPT, EMPA, (DES)₂, but also toxic EA-2192. On glass, EMPA was the only reported degradation product.

Concentration of VX was reported to be much smaller above concrete than above asphalt, glass, steel or marble, which is explained by strong adsorption of VX to concrete plus its degradation on basic sites of concrete. Strong adsorption of VX to glass has been observed as well. In addition to that, asphalt and bitumen were proven to absorb/dissolve VX and release it over a long period of time.

All things considered, field analysis of real samples of urban matrices with suspected contamination by VX presents a complex challenge, beginning by a coherent method of sample acquisition by a sampling team, followed by a tailored and elaborate preparation of sample and a successful analysis within the chemical field laboratory. Optimization of such procedures will require further work and will be tackled by the authors.

References

1. Okumura, T., Takasu, N., Ishimatsu, S., Miyanoki, S., Mitsuhashi, A., Kumada, K., Tanaka, K., and Hinohara, S., 1996, Report on 640 victims of the Tokyo subway sarin attack. *Annals of Emergency Medicine* 2(28): 129-135.
2. Nakagawa, T. and Tu, A. T., 2018, Murders with VX: Aum Shinrikyo in Japan and the assassination of Kim Jong-Nam in Malaysia. *Forensic Toxicology* 2(36): 542-544.
3. Brunka, Z., Ryl, J., Brushtulli, P., Gromala, D., Walczak, G., Zięba, S., Pieśniak, D., Sein Anand, J., and Wiergowski, M., 2022, Selected Political Criminal Poisonings in the Years 1978–2020: Detection and Treatment. *Toxics* 8(10):
4. Patočka, J., *Vojenská toxikologie*. 2004, Czech Republic: Grada. 180.
5. Gura, S., Tzanani, N., Hershkovitz, M., Barak, R., and Dagan, S., 2006, Fate of the chemical warfare agent VX in asphalt: A novel approach for the quantitation of VX in organic surfaces. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 1(51): 1-10.
6. Verweij, A., Van Liemptvan Houten, M. A., and Boter, H. L., 1985, Isolation, concentration and subsequent analysis by capillary gas chromatography of trace amounts of organophosphorus compounds from aqueous samplest. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry* 1-2(21): 63-77.
7. Young, R. A., Watson, A., *Chapter 8: Organophosphate nerve agents*, in *Section II: Agents that can be used as weapons of mass destruction*, in *Handbook of Toxicology of Chemical Warfare Agents*, Gupta, R. C. (ed.). 2020, Academic Press. p. 99.
8. Jung, H. and Choi, S., 2018, VX Evaporation and Degradation from Urban Land Surfaces. *Environmental Engineering Science* 6(35): 645-653.
9. Verweij, A. and Boter, H. L., 1976, Degradation of S-2-Di-isopropylaminoethyl O-ethyl methylphosphonothioate in soil: Phosphorus-containing products. *Pesticide Science* 4(7): 355-362.
10. OPCW, First Report by the OPCW Investigation and Identification Team Pursuant to Paragraph 10 of Decision C-SS-4/DEC.3 "Addressing the Threat from Chemical Weapons Use" Ltamenah (Syrian Arab Republic) 24, 25, and 30 March 2017. 2020, OPCW. p. 82.
11. Kingery, A. F. and Allen, H. E., 1995, The environmental fate of organophosphorus nerve agents: A review. *Toxicological & Environmental Chemistry* 3-4(47): 155-184.
12. Yang, Y. C., Baker, J. A., and Ward, J. R., 1992, Decontamination of Chemical Warfare Agents. *Chemical Reviews* 8(92): 1729-1743.
13. Groenewold, G. S. *Degradation kinetics of VX*. in *Main Group Chemistry*. 2010.
14. Groenewold, G. S., Appelhans, A. D., Gresham, G. L., Olson, J. E., Jeffery, M., and Weibel, M., 2000, Characterization of VX on concrete using ion trap secondary ionization mass spectrometry. *Journal of the American Society for Mass Spectrometry* 1(11): 69-77.
15. Wagner, G. W., O'Connor, R. J., and Procell, L. R., 2001, Preliminary study on the fate of VX in concrete. *Langmuir* 14(17): 4336-4341.
16. Groenewold, G. S., Williams, J. M., Appelhans, A. D., Gresham, G. L., Olson, J. E., Jeffery, M. T., and Rowland, B., 2002, Hydrolysis of VX on concrete: Rate of degradation by direct surface interrogation using an ion trap secondary ion mass spectrometer. *Environmental Science and Technology* 22(36): 4790-4794.
17. Yang, Y. C., Szafraniec, L. L., Beaudry, W. T., Rohrbaugh, D. K., Procell, L. R., and Samuel, J. B., 1996, Autocatalytic hydrolysis of V-type nerve agents. *Journal of Organic Chemistry* 24(61): 8407-8413.
18. Wagner, G. W., O'Connor, R. J., Edwards, J. L., and Brevett, C. A. S., 2004, Effect of drop size on the degradation of VX in concrete. *Langmuir* 17(20): 7146-7150.

19. Williams, J. M., Rowland, B., Jeffery, M. T., Groenewold, G. S., Appelhans, A. D., Gresham, G. L., and Olson, J. E., 2005, Degradation kinetics of VX on concrete by secondary ion mass spectrometry. *Langmuir* 6(21): 2386-2390.
20. Jenkins, R. A., Buchanan, M. V., Merriweather, R., Ilgner, R. H., Gayle, T. M., and Watson, A. P., 1994, Movement of chemical warfare agent simulants through porous media. *Journal of Hazardous Materials* 2(37): 303-325.
21. Karalliedde, L., Wheeler, H., Maclehose, R., and Murray, V., 2000, Possible immediate and long-term health effects following exposure to chemical warfare agents. *Public Health* 4(114): 238-248.
22. Waysbort, D., Manisterski, E., Leader, H., Manisterski, B., and Ashani, Y., 2004, Laboratory Setup for Long-Term Monitoring of the Volatilization of Hazardous Materials: Preliminary Tests of O-Ethyl S-2-(N,N-Diisopropylamino)ethyl Methylphosphonothiolate on Asphalt. *Environmental Science and Technology* 7(38): 2217-2223.
23. Columbus, I., Waysbort, D., Marcovitch, I., Yehezkel, L., and Mizrahi, D. M., 2012, VX fate on common matrices: Evaporation versus degradation. *Environmental Science and Technology* 7(46): 3921-3927.
24. Wagner, G. W. and Fry, R. A., 2009, Observation of distinct surface Al IV sites and phosphonate binding modes in γ -alumina and concrete by high-field ^{27}Al and ^{31}P MAS NMR. *Journal of Physical Chemistry C* 30(113): 13352-13357.
25. Flytzani-Stephanopoulos, M. and Schmidt, L. D., 1979, Evaporation rates and surface profiles on heterogeneous surfaces with mass transfer and surface reaction. *Chemical Engineering Science* 3(34): 365-372.
26. Mizrahi, D. M. and Columbus, I., 2005, ^{31}P MAS NMR: A useful tool for the evaluation of VX natural weathering in various urban matrixes. *Environmental Science and Technology* 22(39): 8931-8935.
27. Brevett, C. A. S., Sumpter, K. B., Pence, J., Nickol, R. G., King, B. E., Giannaras, C. V., and Durst, H. D., 2009, Evaporation and degradation of VX on silica sand. *Journal of Physical Chemistry C* 16(113): 6622-6633.
28. Vanninen, P. (ed.), *Recommended Operating Procedures for Analysis in the Verification of Chemical Disarmament*. 2017, Helsinki, Finland: University of Helsinki. 809.

Addresses for correspondence:

2LT Ondrej Kares, 31st CBRN Defence Regiment, Namesti Stefanikovo 1, Liberec 460 01, Czech Republic, phone: +420 777 597 844, email: ondrej.kares@unob.cz

CPT Tomas Rozsypal, PhD, Nuclear, Biological and Chemical Defence Institute, University of Defence, Vita Nejedleho 1, Vyskov 682 01, Czech Republic, phone: +420 973 452 338, email: tomas.rozsypal@unob.cz

DOI: 10.34660/INF.2023.27.72.006

**ASSESSMENT OF THE AGGRESSIVENESS OF SOIL
SALINITY
EVALUATION AND MEASURES OF PROTECTION
FROM THE AGGRESSIVE IMPACT OF SOIL AND AIR
ENVIRONMENT ON BUILDING STRUCTURES OF
BUILDINGS**

Assoc. Khasanova O. T., ass. Lutfullaev T.A.

ОЦЕНКА АГРЕССИВНОСТИ ЗАСОЛЕННОСТИ ГРУНТОВ

**ОЦЕНКА И МЕРЫ ЗАЩИТЫ ОТ АГРЕССИВНОГО
ВОЗДЕЙСТВИЯ ГРУНТОВ И ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ НА
СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ ЗДАНИЙ**

**доц. Хасанова О. Т., асс. Лутфуллаев Т.А
Ташкентский государственный технический университет
Тел.: +998946406048**

Annotation. Practice shows that the building structures of buildings and structures are often exposed to an aggressive environment, as a result of which their partial or complete failure, in some cases, the end of the service life of the design occurs much earlier. One of the main reasons for which is the destruction of the material of building structures as a result of corrosion under the influence of an external aggressive environment.

The article deals with the problems of salinity of soils on the example of the city of Gulistan of the Republic of Uzbekistan, as well as measures to protect building structures from the effects of aggressive environments.

Аннотация. Как показывает практика, строительные конструкции зданий и сооружений часто подвергаются воздействию агрессивных сред, следствием которого является частичный или полный отказ их в ряде случаев происходит задолго до окончания проектного срока службы. Одна из основных причин которых является разрушение материала строительных конструкций в результате коррозии под воздействием внешней агрессивной среды.

В статье рассмотрены проблемы засоленности грунтов на примере г. Гулистан Республики Узбекистан, а также меры защиты строительных конструкций от воздействия агрессивных сред.

Ключевые слова. Агрессивная среда, водорастворимые соли, грунтовая среда, кислоты, щелочи, коррозия, защита

Агрессивные свойства воды определяет степень ее минерализации, а также кислотности или щелочности. Грунтовые и подземные воды содержат минеральные соли и другие примеси.

Засоленные грунты широко распространены в равнинных областях Средней Азии и восточного Закавказья, центральный Казахстан, Прикаспийская низменность, южной Украины, среднего и нижнего Поволжье, Северного Кавказа и Сибири. Состав и количество солей в грунтах определяются химическим анализом вытяжек, получаемых при различных способах обработки грунта водой и растворами кислот.

Изучение засоленности следует проводить до определения физико-механических свойств грунтов, так как в ряде случаев (например, определение удельного веса) для засоленных грунтов применяется специальная методика. Знание засоленности грунтов, толщины слоя и условий их залегания необходимо для прогноза влияния воды на воднорастворимую часть этих грунтов, оценки агрессивности засоленных грунтов по отношению к бетону и металлу, выявления дорожно-строительных свойств грунтов, установления пригодности почв для сельскохозяйственных и других целей.

Грунты, как и всякие горные породы в той или иной степени засолены и содержат определенное количество водорастворимых солей. Они определяют коррозионность грунтовой среды по отношению к бетону, стали и другим строительным материалам.

Автор работы [1], почвенной (почвенно-грунтовой) коррозией называет разрушение поверхности металлического сооружения, подвергнувшегося воздействию окружающей почвенной или грунтовой среды. В зоне аэрации на элементы конструкций водорастворимые соли грунтов действуют, предварительно растворившись в грунтовых водах, или в просачивающихся атмосферных, оросительных, бытовых или сточных водах.

Рассмотрим градостроительную оценку засоленности грунтов и минерализацию грунтовых вод на примере г. Гулистан Республики Узбекистан. Территория г. Гулистан расположена в староорошаемой зоне голодной степи и сложена Голодностепским комплексом четвертичной системы [2]. Литологический состав горных пород в активном градостроительном интервале представлен супесями (60%) и суглинками (40%) территории города и распространены на северной половине, юго-западной и юго-восточной части города.

Установлено [2], что территория г. Гулистан относится к подтопленным территориям Голодной степи, где режим уровня грунтовых вод в голодной степи ирригационный и зависит от режима орошения, в

первую очередь от режима расхода канала. В период наивысшего положения уровень грунтовых вод залегает на глубине 0,5-1,0 м в центральной части территории города 1,0-1,5 м. наименьшее положение уровня грунтовых вод наблюдается в конце оценовочных поливов. При минимуме уровня грунтовые воды залегают на глубине от 3,0-3,5 м в зоне влияния канала им. Кирова до 2,0-3,0 м в зоне влияния орошения.

Минерализация грунтовых вод в г. Гулистан

ионов сульфата 970-7040 mg/l, в среднем по территории города 1820 mg/l	
ионов хлора содержится 105-1810 mg/l, в среднем по территории города 288 mg/l	
ионов гидрокарбоната содержится 259-802 mg/l, в среднем по территории города 457 mg/l	
ионов кальция содержится 270-600 mg/l, в среднем по территории города 319 mg/l	
ионов магния 71-76,5 mg/l, в среднем по территории города 219 mg/l	
ионов натрия и калия в сумме содержится 126-1681 mg/l, в среднем по территории города 543 mg/l	
Реакция среды щелочная, рН равна 7,1-8,5, в среднем 7,4.	
Тип минерализации грунтовых вод при плотном остатке воды	до 7-8 g/l – сульфатно-гидрокарбонатный до 7-8 g/l – сульфатно-хлоридный

Как правило, грунтовые воды вдали от источников питания, а также при наименьших положениях уровня более минерализованные и наоборот. Вблизи источников фильтрации и в летний вегетационный период – менее минерализованные.

Грунты г. Гулистан в интервале глубины от 0,2 до 2-3 м содержат

водорастворимых солей	от 0,2-4,4% в среднем по территории города 0,78 от сухой навески
Ионов сульфата	От 0,057 до 2,100%, в среднем по территории города 0,467%
Ионов гидрокарбоната	0,012-0,062%, в среднем по территории города 0,038%
Ионов кальция	0,017-0,372%, в среднем по территории города 0,143%
Ионов магния	0,004-0,056%, в среднем по территории города 0,023%
Ионов натрия и калия в сумме	0,020-0,359%, в среднем по территории города 0,074%
Тип минерализации водного раствора солей – сульфатно-кальциевый	

Грунтовые воды и грунты территории г. Гулистан по компонентам солей являются сульфатно-агрессивными к плотным бетонам на портландцементе, шлакопортландцементе, а местами – агрессивными и к бетонам на сульфатостойком цементе по ГОСТ 22266-13.

В результате обследования территории г. Гулистан было установлено, что разрушающему воздействию атмосферных и производственных агрессивных сред подвергается от 20 до 55% строительных зданий и сооружений. Коррозионному разрушению подвергаются не только аппараты и оборудование, но и несущие строительные конструкции — колонны, ригели, фермы, плиты перекрытия, фундаментные башмаки и другие части промышленных зданий.

В соответствии с нормами КМК 2.03.11-96 «Защита строительных конструкций от коррозии» основания, сложенные засоленными грунтами, должны проектироваться с учётом их особенностей, обуславливающих: образование при длительной фильтрации воды и выщелачивании солей суффозионной осадки *ssf*; изменение в процессе выщелачивания солей физико-механических свойств грунта, сопровождающееся, как правило, снижением его прочностных характеристик; набухание или просадку грунтов при замачивании; повышенную агрессивность подземных вод к материалам подземных конструкций за счет растворения солей, содержащихся в грунте.

При расчетных деформациях оснований сложенного засоленными грунтами, больше предельных или недостаточной несущей способности основания должны предусматриваться следующие мероприятия:

- конструктивные мероприятия; частичная или полная срезка засоленных грунтов с устройством подушки из пылевато-глинистых грунтов;
- прорезка толщи засоленных грунтов глубокими фундаментами;
- закрепление или уплотнение грунтов;
- предварительное расселение грунтов;
- комплекс мероприятий, включающий водозащитные и конструктивные мероприятия, а также устройство грунтовой подушки.

Из выше приведённых мероприятий, рассмотрим меры защиты агрессивного воздействия воздушной среды на надземные части конструкции зданий.

Известно, что воздействие воды на строительные материалы в ряде случаев является причиной выщелачивания отдельных составляющих материалов, а при условии одновременного замораживания - и причиной их разрушения. Наличие солей в воде, как правило, увеличивает ее агрессивность. Агрессивность кислот определяется их природой, концентрацией рН водных растворов (водородный показатель рН принят

для нейтральной среды равным 7, кислой - менее 7, щелочной - более 7), окислительной способностью и температурой среды. На многие строительные конструкции разрушающее действие оказывают окислители. Окисление происходит не только в результате воздействия кислорода воздуха, но и в кислой, а также нейтральной или щелочной среде, содержащей и другие окислители (хлор, пары брома и йода и др.). На наземные части конструкции зданий могут агрессивно воздействовать воздушная среда с относительной влажностью 60...75% и более, брызги кислот и щелочей, действующие на нижние части конструкций [2].

Как известно, многие строительные материалы пронизаны разветвленной сетью капилляров и пор, позволяющих воде проникать сквозь материал. Поэтому, для повышения водонепроницаемости достаточно просто перекрыть эти поры каким-либо образом, что и является традиционным подходом, который и называется гидроизоляцией конструкции. Для этого следует либо создать водонепроницаемый слой на поверхности конструкции, либо, например, уплотнить сами поры и капилляры. Возможность гидроизоляции перекрытием пор не вызывает сомнений. Но возможность не означает необходимость: существует ряд задач, где этот метод экономически нецелесообразен, поскольку есть решения проще и дешевле. Кроме того, существуют и санитарно-гигиенические ограничения на применение этого метода гидроизоляции. Таким ограничением является требование сохранения воздухо- и паропроницаемости ограждающих конструкций жилых зданий: понятно, что перекрытие пор существенно ухудшает или вовсе сводит на нет эти характеристики строительных материалов.

В наземных частях зданий и сооружений в подавляющем большинстве случаев существенного давления воды нет, а причиной проникновения является «всего лишь» смачивание поверхности капилляров строительного материала водой: достаточно капле воды коснуться поверхности, как она стремительно, без внешнего давления, втягивается внутрь его капилляров. Если поверхность конструкции будет выполнена из водоотталкивающего материала или покрыта таким материалом, то вода внутрь капилляра не втянется в полном соответствии с законами физики. Именно это и происходит при применении кремнийорганических гидрофобизаторов, которые представляют собой растворы кремнийорганических соединений в воде или органическом растворителе, которые после нанесения на поверхность пористой конструкции проникают внутрь капилляра. При испарении воды (растворителя) кремнийорганические соединения оседают на поверхности капилляра с образованием там тончайшей (толщиной, порядка десятки микрометров) полимерной пленки с высокими гидрофобными свойствами. Обработанная

таким образом поверхность при контакте с водой уже не втягивает ее в себя, поэтому вода не проникает внутрь конструкции (рис. 1) [4].

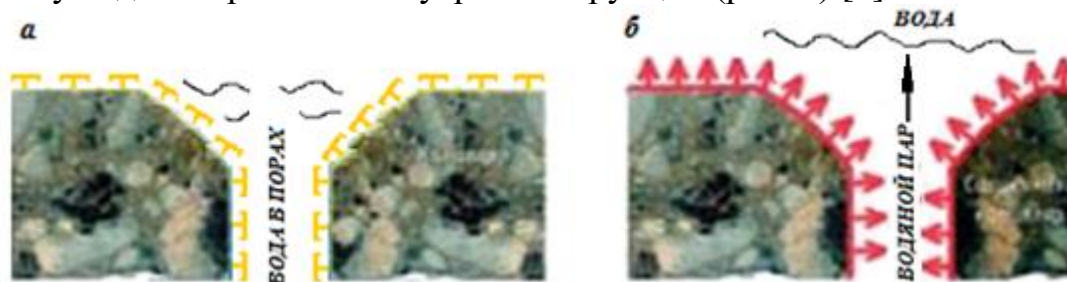


Рис. 1. а- необработанный бетон; б- обработанный бетон; Υ - ОН – функция; \uparrow - силиоксан.

Преимущества кремнийорганических гидрофобизаторов от других вариантов защиты строительных конструкций:

- имеют долгие сроки службы. Водоотталкивающая пленка в капиллярах очень малого диаметра находится на достаточно большой глубине (до 15-20 мм от поверхности обработки);

- конструкция полностью сохраняет свою проницаемость для воздуха и пара;

пленка кроме малой толщины еще и прозрачна, на её поверхности не удерживаются атмосферные загрязнения, в результате чего она очень долгое время остается чистой и сохраняет эффект новизны;

- рекомендуется для защиты от проникновения воды нижних частей конструкций (метод инъектирования);

- низкая стоимость обработки (масса пленки на 1 м^2 поверхности составляет менее 20 гр.) [5].

Таким образом, для выбора материалов подземных конструкций необходимо обратить особое внимание на химический состав и минерализацию подземных грунтовых вод, а также на степень засоленности грунтов. Так как общие потери в результате коррозии строительных конструкций подвергающихся действию агрессивной среды оценивается в млрд. руб./год. Потери от коррозии не ограничиваются лишь стоимостью затрат на ремонтно-восстановительные работы, к ним также относятся и потери, связанные с простоем оборудования и снижением выпуска продукции.

Из выше сказанного следует: железобетонные конструкции с различными защитными покрытиями в агрессивных средах при изучении и оценке их коррозионной стойкости, следует рассматривать как единую систему, состоящую из «бетона-покрытия-окружающей среды», состоящую «с учётом особенностей взаимного влияния компонентов системы друг на друга и на коррозионную стойкость конструкции в целом»; эффективность и требования к защитным покрытиям конструкций определяются с учётом особенностей защищаемых конструкций, условий их монтажа и

эксплуатации; применение покрытий не исключает обязательного соблюдения требований плотности и монолитности бетона, предназначенного для работы в агрессивной среде.

ЛИТЕРАТУРА

1. Агашков А.К. Агрессивность почв и методы её определения для строительного проектирования. – М., 1955г.

2. Агзамова И.А., Адиллов А.А. Районирование городской территории по свойствам агрессивности и коррозии Республиканская научно-техническая конференция. Сборник тезисов. – Т., 2011, стр.189-191.

3. КМК 2.03.11-96 "Защита строительных конструкций от коррозии", (Госкомархитектстрой. РУз), г.Ташкент, 1996 г.

4. Хасанова О. Т. Проблемы защиты надземных сооружений от воздействия агрессивных сред. Проблемы и перспективы инновационной техники и технологий в сфере охраны окружающей среды. Международная научно-практическая on-line конференция. 17-19 сентябрь, 2020. стр 462-464.

5. Хасанова О. Т., Низамова Д.О. Проблемы экологической обстановки в водоёмах на примере Айдаро-арнасайской системы озёр. Ekologik xavfsizlikning dolzarb muammolari. Respublika ilmiy-amaliy konferensiya materiallari to'plami. O'zbekiston Respublikasi milliy gvardiyasi harbiy-texnik institute. 2020 yil 15 sentabr. стр 99-102

Адрес за корреспонденция:

Хасанова Ойдин Ташпулатовна, Темурхон Лутфуллаев Абдумажидхон,

доцент, ассистент ТДТУ

Телефон __+998946406048

E-mail __1958bjd@gmail.com

DOI: 10.34660/INF.2023.76.75.007

ПСИХОЛОГИЧНИ КРИЗИСНИ ИНТЕРВЕНЦИИ СЛЕД НАВОДНЕНИЯТА В КАРЛОВСКО – СПОДЕЛЕНА ПРАКТИКА

Анета Мишева, д.пс.

PSYCHOLOGICAL CRISIS INTERVENTIONS AFTER THE FLOODS IN KARLOVO REGION – SHARED PRACTICE

Aneta Misheva, Ph.D.

***Abstract:** This article presents the shared professional expertise from psychological crisis interventions conducted among people who suffered from the floods in Karlovo municipality on 02.09.22. The specific features of crises caused by natural disasters are examined, as well as the possible individual emotional, physical, behavioral, and cognitive changes. The toolkit for conducting a psychological crisis intervention is described, characterizing the stages of intervention - working with emotions, behavioral restructuring, and intellectual problem-solving.*

***Keywords:** natural disaster, floods, crisis, psychological crisis intervention.*

На 2 септември 2022 г. кметът на община Карлово обяви частично бедствено положение във всички селища, намиращи се западно от град Карлово. Причината е продължителен интензивен дъжд, паднал на територията на общината, в следствие на който са наводнени етажи на жилищни и търговски сгради, промишлени предприятия, нарушена е пътната настилка, навлечени са инертни материали в с. Богдан, с. Столетово, с. Каравелово, с. Московец, гр. Клисура, с. Розино, с. Слатина и с. Христо Даново. В част от с. Богдан електрозахранването е прекъснато, паднали са стълбове за улично осветление, запушени са мостове и шахти.

Провеждат се неотложни спасителни и аварийно-възстановителни работи. Кризисен щаб ръководи, организира и координира действията по спасителните дейности. В спасителната операция е включен хеликоптер от ВВС, който евакуира хора от недостъпни места в селата Каравелово, Богдан, Столетово и Слатина. Осигурени са храна и места за нощуване на нуждаещите се хора [1].

Понятието „*криза*” за първи път е използвано като специфичен термин в психиатрията от Джералд Каплан, който дава следната дефиниция: „Нарушение на стабилното състояние на индивида, настъпващо, когато индивидът установи, че постигането на важни за него житейски цели е блокирано от сериозни препятствия. Тези препятствия изглеждат непреодолими, поне за известно време, с помощта на обичайните методи за решаване на проблемите” [2].

Природните бедствия, в т.ч. и наводненията, както и технологичните бедствия, в т.ч. проблеми с ядрени реактори като в Чернобил [3] имат характеристиките на т.н. макротравми. Това са стресиращи жизнено-значими събития, които се случват в сравнително кратък период от време, при които са заплашени човешкия живот и нормалното функциониране на индивидите. Такива събития настъпват внезапно (често с малко или без никакво предупреждение), имат масов характер и са свързани с много промени, и загуби. Ограничените механизми за контрол върху природното бедствие предполагат развитие на стресова реакция на организма [4]. От значение за величината на стреса е и индивидуалната психологична оценка на ситуацията като заплаха, вреда, загуба, предизвикателство или доброжелателство [5].

Природните бедствия, в т.ч. и наводненията, се причисляват към ситуационните кризи. Кризата настъпва тогава, когато стресиращото жизнено-значимо събитие надхвърля способността на индивида да се справя ефективно. При криза настъпват следните промени: Емоционални – като гняв, страх, вина...до блокиране на емоцията; Телесни – с проява на вегетативна неврологична симптоматика като сърцебиене, повишаване на кръвното налягане, зачервяване, побледняване, изпотяване, виене на свят, изтръпване на ръцете и подкосяване на краката, учестено дишане и др.; Поведенчески – с поведение, различно от обичайното като агресивни избухвания, социална изолация, злоупотреба с медикаменти, алкохол и др., Когнитивни – при които липсва възможност за ясна оценка на ситуацията, за подреждане на приоритетите, за съставяне на ясен план за преодоляване на кризата.

Кризисна интервенция наричаме всяка интервенция, която се предприема своевременно, за да се управлява риска, свързан с кризата. Целта е да се намалят вредите и негативните последици до възможно най-ниското ниво и в най-добрия случай да се постигне положителна промяна. Кризисната интервенция има свой времеви отрязък – от момента на настъпване на стресиращото събитие до три месеца. Кризисното интервениране като подход няма собствена теория. То е емпиричен продукт, получен чрез натрупване на наблюдения от опита и експериментиране с хипотези, че определено вмешателство в даден кризисен момент ще доведе до положителни резултати [6].

Цел

Проведените психологични кризисни интервенции имаха за цел да интервенират емоциите, да подпомогнат засегнатите да разгърнат психосоциална мрежа и адекватно поведение за справяне с кризата, породена от наводненията на 2 септември 2022 г. На фокус бяха възстановяването на самостоятелното функциониране, както и придобиването на нов психологичен опит за справяне с подобни кризи.

Методика

Интервенцията се проведе на терен в пряк контакт от 23-25.09.2022 г. (21-23 дни след наводненията) сред 17 жители на селата Каравелово и Богдан. Към най-нуждаещите ни насочиха от кризисния център на община Карлово, кметовете на селата и личния лекар.

Инвентар:

Използвахме инвентара за психологически кризисни интервенции на школата по позитивна и транскултурална психотерапия при спазване на основните принципи за провеждане на кризисни интервенции. Етапите са следните:

I. Работа с емоциите;

II. Поведенческо реструктуриране;

III. Интелектуално разрешаване на проблема – с включване на разума.

Резултати

I. Работа с емоциите – Както по време, така и непосредствено след наводненията в тази първа фаза водещ е шокът от случилото се. В емоционален план се манифестира с бурното им изразяване като плач, викане, хвърляне по земята. Нашата помощ е в това да позволим на страдащия свободно да изрази своите емоции като осигурим неговата защита и го предпазим да не се нарани. Противно на очакванията на много хора, че психологът трябва да успокои и укроти страдащия, то тук най-важно е приемането и подкрепата за емоционално изразяване.

Поради по-късното ни посещение в засегнатите села (21-23 дни след наводненията) нашата работа започна от втората фаза на първия етап – подкрепа на емоцията. Актуалните емоции, които се изведоха по време на интервенциите бяха гняв с различна степен на интензивност (раздразнение, яд и гняв) и страх. Млада жена вербализира страха си като сподели: „Много

се уплашихме. Когато ни заля, бях сама в къщи с детето”, а друга по-възрастна все още го преживява: „Сега дори облак да премине и се страхувам, че не знам какво пак ще се извали”. Някои от пострадалите споделиха опасенията си: „Добре, че не се случи през нощта, защото щеше да има много жертви”. Гневът се долавя в често повтаряните реплики: „Защо точно сега?” и „Пак ли на нас?”.

В тази фаза пострадалите бяха стимулирани да разкажат какво им се е случило и какво означава то за тях. Всички подробно описваха детайли от събитието, както и собствените си преживявания и опити да се спасят. Всички казваха: „Не си спомняме някога да е валило толкова много. За кратко време се изсипа много дъжд. Беше порой”. Разказваха как наводнението ги е заляло в четири вълни и всяка следваща е била по-голяма и по-интензивна. В детайли споделяха какво са правили непосредствено преди да ги залее реката – как са чували бученето ѝ (сякаш ги е предупреждавала да се махнат), но те са били заети с обичайни делнични неща (пекли са чушки, готвели са, грижили са се за животните, приготвяли са се да тръгват на почивка и др.). Надявали са се дъждът да премине. Едва, когато реката е заляла дворовете и е влязла в домовете им, са се усетили да се спасяват. Показваха следите по стените и дуварите докъдето е стигнала реката. Някои от тях споделяха, че нямат спомен какво са правили и че им се губят моменти; че случилото се не им е реално и като че ли са във филм на вещици, което е показателно за когнитивни нарушения. Когато са се обезопасили на високо на горните етажи на къщите или стопанските пострройки, тогава са се усетили мокри и премръзнали. Чакали са с часове да се оттегли реката и да бъдат спасени. Всички акцентираха върху усилията, които са положили, за да изградят и обзаведат домовете си. Някои са вложили спестявания от гурбет, други са се лишавали за това, което реката е отнесла за много кратко време - „Виждаш как реката влиза в дома ти, завърта се из помещенията, отваря шкафови и вади от там всичко – дрехи, посуда. Изтръгва перални, печки, спалня и ги изгвърля навън”; а споделеното: „Безсилен си. Няма какво да направиш” – издава липса на контрол върху ситуацията. При много от пострадалите регистрирахме телесни вегетативни реакции, тъй като те споделиха, че са тревожни, страдат от безсъние или сънуват кошмари, повишили са кръвното налягане, имат световъртеж.

Третата фаза на първия етап е работа за разгръщане на психо-социална мрежа. Целта ни тук бе да насочим пострадалите към споделяне на събитието с най-близките и доверени лица. Подходящи въпроси за това са как случилото се приема от семейството, приятелите, колегите и какво преживяват те. От разказите на пострадалите се оказва, че те са широко подкрепени от близки, познати и непознати доброволци и държавни формирования. Споделиха, че са много благодарни на хората, които им съчувстват и са им се обадили, за да им предложат финансова и материална

подкрепа. Че в кметствата също има продукти от първа необходимост като храна, вода и дрехи. Но ги е яд, че домове им са разрушени, а имуществото отнесено или счупено. „Моят дом е моята крепост”, „Най-добре се чувствам с моите дрехи, с моите завивки и с моите посуда”.

II. Поведенческо реструктуриране – Това е етапът, в който целим да подтикнем пострадалието към поведение за активно справяне и към лична активност за създаване на социална мрежа за подкрепа. За стимулиране на лична активност задавахме въпроси като „На кого ти се иска да се обадиш и да споделиш какво се е случило?” и „Познаваш ли някой, който е преживял подобно нещо? Би ли се срещнал с него/нея, за да ти разкаже как той/тя се е справил/а в подобна ситуация?”. Тези въпроси се оказаха полезни и за насочване и ползване на добрия опит на други, преживели природен катаклизъм. Отговорите, които получихме, бяха под формата на емоционално-структурирани разкази как са се обадили на роднини и много близки приятели, и как са подкрепени от тях с посещения и пряка помощ. Никой обаче не познаваше (и не се сещаше) за пострадали от друго наводнение. В семейните истории и минал опит липсваха умения за справяне с такава криза. Други споделиха, че нямат време да се замислят, защото от началото на бедствието са ангажирани: „Прибирам се в къщи само да спя, защото откакто се наводнихме съм в кметството. Записвам и разпределям доброволците и помощите”, „То много време за приказки няма. В къщи и сред приятели нещо ще си кажем, на ракийка и салатка”.

III. Интелектуално разрешаване на проблема – включване на разума. Това е етапа, в който най-силните и блокиращи емоции са интервенирани, психо-социалната мрежа е разгърната, страдащият е насочен към възможни активности за справяне в тази ситуация на базата на минал опит и разум. На този етап човек на рационално ниво осмисля и приоритизира актуалните си потребности и е в готовност за действие. Тук се включват доказали полезното си действие стари стратегии или се изпробват нови. За това подтикнахме бедстващите да помислят от какво имат нужда, за да се справят и как могат да продължат напред. Като непосредствена необходимост почти всички посочиха спокойствието и разбирането, което подкрепя този рационален етап. Максимата „Разрешаването на проблема е там, където е проблемът” много ясно очерта бъдещите житейски планове, а именно – усилията на пострадалите са и ще са насочени за изчистване, възстановяване, оборудване и обзавеждане на домовете; както и завръщане към ежедневните делнични неща (грижи за дома и близките). В етапа на разума в пълна сила важи поговорката „Сговорна дружина планина повдига”, която илюстрира вече разгърната социална мрежа за взаимопощ.

В края на проведените кризисни интервенции интервенираните споделиха, че са се почувствали много добре от разговорите - „Олекна ми

като поговорихме”, „Сякаш камък ми падна от сърцето”, „Вече по-леко дишам”.

Обсъждане

Почти всеки от нас свързва кризата с някаква трудност. *Кризата* според тълковния речник е: „Разстройство, рязък прелом, тежко, изострено, опасно положение в хода на нещо” [7].

Природните бедствия се класифицират като макротравми със свои специфичните характеристики. От една страна е неблагоприятното външно събитие наводнение (т.н. стресор), а от друга – реакцията на организма, в отговор на стресора (емоционална, телесна, когнитивна, поведенческа). Крайната цел е възстановяване на хомеостазата (равновесието) или състоянието на относително благополучие, преди наводнението. Невъзможността на индивида да се справи с кризата създава рискове за пониско ниво на функциониране на индивидите до оттегляне от социалния живот, изява и/или хронифициране на заболявания (в т.ч. психосоматични), поведенчески и когнитивни нарушения. Успешното справяне с кризата обаче води до създаване на нов психологичен опит за справяне с подобни събития.

В кризата човек не може да се справи сам, поради това, че емоцията го е завладяла и е блокирала поведението му.

Не би могло да се провеждат кризисни интервенции без установяване на контакт и изграждане на доверие. Опитът ни показва, че в тези случаи водеща е активността на терапевта. Това изисква посещения на място при пострадалите, ненаатрапчиви умения за създаване на терапевтичен контакт и емпатия.

В предвид на това, че кризите са емоционално рискови ситуации, излагащи страдащите на неадаптивно справяне, то кризисните интервенции имат характера на спешност и неотложност. Провеждат се от момента на възникване на природното бедствие максимум до третия месец от началото му. Преди да се премине към интелектуалното справяне със ситуацията е наложително да се интервенират чувствата на страдащите. Затова проведените кризисни интервенции имаха за цел на първо място да интервенират блокираните или свръхизявени негативни стенични емоции. На този етап ние подпомагахме признаването, преживяването и изразяването на чувствата. Насочвахме пострадалите и към умелото им използване. Водещите емоции при почти всички интервенирани бяха гневът в различна степен на интензивност, както и страхът. Известно е, че гневът е стенична емоция и има енергия, която може да бъде конструктивно използвана, а именно - за възстановяване на погубеното имущество и за нормалното битово функциониране. А добрата функция на страха е, че той служи да алармира за опасностите. С помощта на поговорката „Страх лозе пази” осъзнаха това му ново полезно значение.

Важен елемент в кризисната интервенция се оказва подпомагането на пострадалите да разберат какво точно се е случило по време на наводнението. Разказването за събитието ги стимулираше те да си припомнят фактите, а чрез тяхното структуриране и да възвърнат контрола си над ситуацията.

Разгръщането на психо-социалната мрежа е важен стабилизиращ фактор, чрез който пострадалите по-лесно можеха да възстановят предкризисното си ниво на функциониране. Доверяването на някого може да играе по-централна роля в справянето с проблема. И в тази връзка в проучвания на травмиращи събития се докладва, че доверяването на другите се свързва с повече положителни резултати[8][9][10]. Наличието на подкрепящо семейство се разглежда като решаващо за адаптивното справяне [11][12], докато участието в усилията на общността е много по-важно за справяне с последствията при природни бедствия[13]. В тази връзка страдащите бяха насочени към най-близкото обкръжение и стимулирани да се обадят и поискат подкрепа, както и да се включат в общи възстановителни дейности.

Акцентът при кризисните интервенции е възстановяване на независимото функциониране и преодоляване на последиците от травматичното събитие. Процесът на справяне с травмата може да се окаже по-важен за психическото здраве на пострадалите, отколкото самото излагане на травматичното събитие. Налице са редица доказателства за това, както ретроспективни [14][15], така и проспективни [16][17]. Функцията на справянето е не само да регулира ситуацията и емоциите, но също така да поддържа целостта на егото и човешкото достойнство при непреодолими условия. На етапа на интелектуалното разрешаване на проблема подпомагнахме интервенираните да оценят и анализират проблемите в момента, да развият практически адаптивни проблем-ориентирани стратегии за справяне с тях, да повярват в собствените си сили и възможности. Важно се оказва инвентаризирането на силните страни на личността (първичните и вторичните способности) преди наводненията, както и успешен минал опит в преодоляването на подобни кризи. Белезите на независимост и разчитане на себе си видяхме в стремежа те да продължат функционирането си така, както преди наводнението, а именно – полагане на грижи за външния вид, чистене, готвене, подреждане на дома, създаване на удобства и грижи за семействата си.

Изводи

Природни бедствия като наводнения не са чести за територията на РБългария. По тази причина българското население не е подготвено за справяне с тях. Освен възстановяване на имуществените загуби особено важно се оказва предприемането на мерки за опазване психическото здраве

и възстановяване на благополучието. Световният опит дава този инструмент и той е в провеждането на кризисни интервенции. Създаването и прилагането на личен професионален опит за реализиране на кризисни интервенции сред пострадалите индивиди и общности е с положително значение – клинично, социално и икономическо. Кризисните интервенции трябва да се провеждат максимално рано (от настъпване на събитието до третия месец) и да са достатъчни, за да постигнат възстановяване на независимото функциониране на индивида, както и придобиване на нов психологичен опит за успешно справяне с подобни кризи.

Конфликт на интереси: Нямаме

Книгопис:

1. www.karlovo.bg/currentNews-7302-text.html - налично към 24.10.2022 г.
2. Каплан Г., Седок Б. Клиническая психиатрия, т. II, Медицина, Москва, 1994
3. Giel R. The psychosocial aftermath of two major disasters in the Soviet Union. *Journal of Traumatic Stress*, 4, 381-392. 1991.
4. Aldwin C. *Stress, Coping and Development. An Integrative Perspective.* The Guilford Press, New York 2007, second edition.
5. Lazarus R. S. & Folkman S. *Stress, appraisal and coping.* New York: Springer. 1984.
6. Германов Д., Сотиров Вл., Кацарова Я. Кризисни състояния и кризисни интервенции в психиатричната практика.
<http://psihichnozdrave.com/biblioteka/statii/кризисни-състояния-и-кризисни-интерв/> - Налично към 18.10.2022 г.
7. <http://talkoven.onlinerechnik.com/duma/криза> - Налично към 24.10.2022 г.
8. Pennenbaker J., Barger S. & Tiebout J. Disclosure of traumas and health among Holocaust survivors. *Psychosomatic Medicine*, 51, 1989.
9. Pennenbaker J. & O’Heeron R. Confiding in others and illness rate among spouses of suicide and accidental –death victims. *Journal of Abnormal psychology*, 93, 1984.
10. Silver et al., Searching for meaning in misfortune: Making sense of incest. *Journal of Social Issues*, 39, 1983.
11. Coyne J. & Downey G. Social factors and psychopathology: Stress, social support and coping processes. *Annual review of Psychology*, 42, 1991.
12. McCubbin H. & Patterson M. Family transitions: Adaptation to stress. In H. I. McCubbin & C. R. Figley (Eds.), *Stress and the family: Vol. I, Coping with normative transitions* (pp. 5-25). New York: Brunner/Mazel, 1983.

13. Smith S. Disasters: Family disruption in the wake of natural disasters. In C. R. Figley & H. I. McCubbin , Stress and the family: Vol. II, Coping with catastrophe, (pp. 120-147). New York: Brunner/Mazel,1983.

14. Fairbank J., Hansen D. & Fitterling J. Patterns of appraisal and coping across different stressors conditions among former prisoners of war with and without posttraumatic stress disorder. Journal of Consulting and Clinical Psychology, 59,1991.

15. Zeidner M. & Hammer A. Coping with missile attack: Resources, strategies and outcomes. Journal of personality, 6, 1992

16. Solomon Z., Miculincer M. & Avitzur E. Coping, locus of control, social support and combat-related posttraumatic stress disorders: A prospective study. Journal of Personality and Social Psychology, 55, 1988.

17. Solomon Z., Miculincer M. & Benbenishty R. Combat stress reaction: Clinical manifestations and correlates. Military Psychology, 1, 1989.

Автор за кореспонденция:

*Анета Драгошинова Мишева, д.пс.; Велико Търново, България; GSM: 0888936449;
E-mail:anetamisheva@gmail.com*

DOI: 10.34660/INF.2023.98.90.008

**МОДЕЛ НА РАЗПРОСТРАНЕНИЕ НА ПРИРОДНИ
(ЕСТЕСТВЕНИ) И ТЕХНОГЕННИ (ИЗКУСТВЕНИ)
РАДИОНУКЛИДИ В ПОЧВИТЕ НА ВОДОСБОРНИЯ
БАСЕЙН НА Р. ТАЙНА**

Лъчезар Филчев

**DISTRIBUTION PATTERN OF NATURAL AND
TECHNOGENIC RADIONUCLIDES IN SOILS OF THE
CATCHMENT AREA OF THE RIVER TAYNA**

Lachezar Filchev

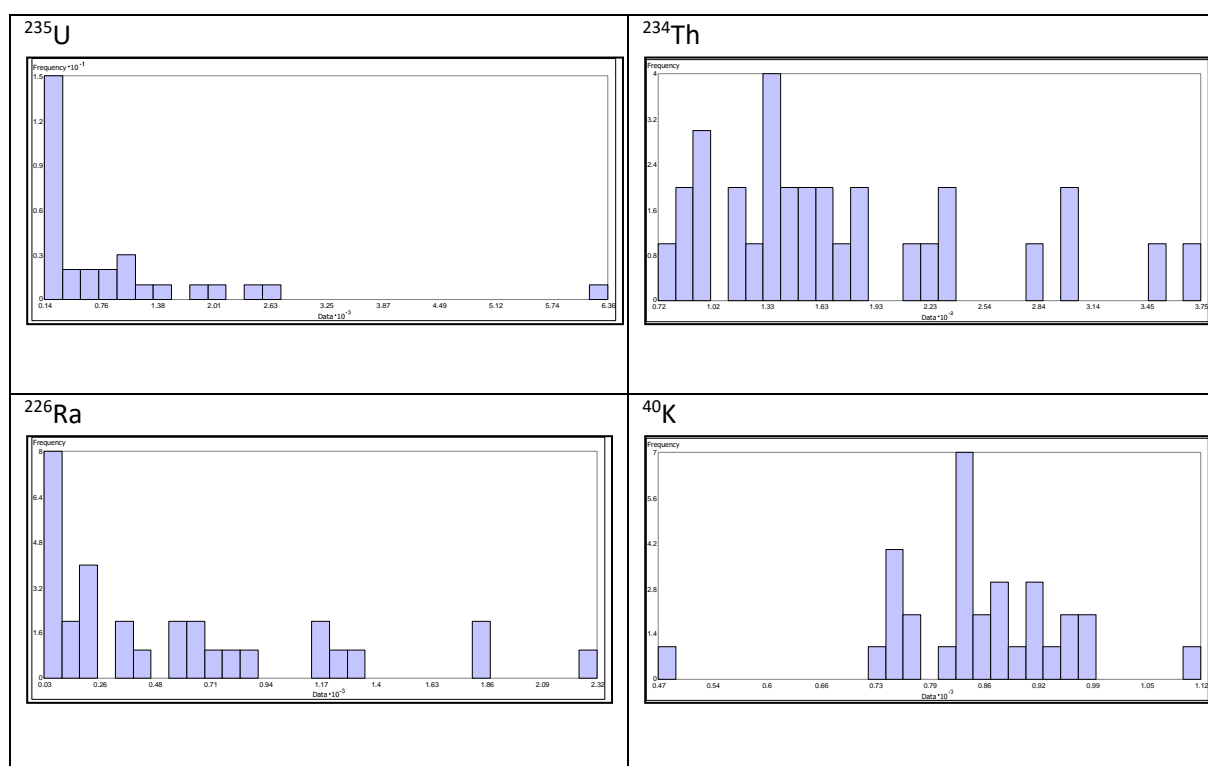
***Abstract:** Наблюденията на Земята се превърнаха в незаменим източник на информация с приложение в много сфери на социално-икономическото развитие на обществото и опазването на околната среда. Докладът представя кратък преглед на постиженията от използване на наблюденията на Земята през последните три десетилетия в България от изпълнение на научноизследователски и образователни проекти.*

***Keywords:** Earth Observations, GEO, EUSPA, EKA, EUMETSAT*

1. Въведение

Моделирането на полетата на разпространение на природни и техногенни радионуклиди и тежки метали е обект на изследване на много науки, като проучвателна геохимия, геофизика, геология, геохимия на ландшафтите, биогеохимия и др. За настоящето изследване моделите на разпространението на тежките метали и радионуклиди използват широко застъпените в практика методи на геостатистиката, а именно кригинг методите. Хистограмите на разпределение на стойностите от радиохимичния анализ на ^{235}U , ^{226}Ra , ^{234}Th ^{40}K в ($\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$) без прилагани трансформации са представени на следващата Фигура 1. Източника на данните е доклад „Радиологична оценка на участък „ИСКРА” към ЕООД „Подземно строителство” (1993) изготвен от „ДИАЛ” ЕООД - гр. Бухово. От фигурата става ясно, че разпределението на стойностите на естествените радионуклиди в района на изследване през 1993 г. не следва естествения

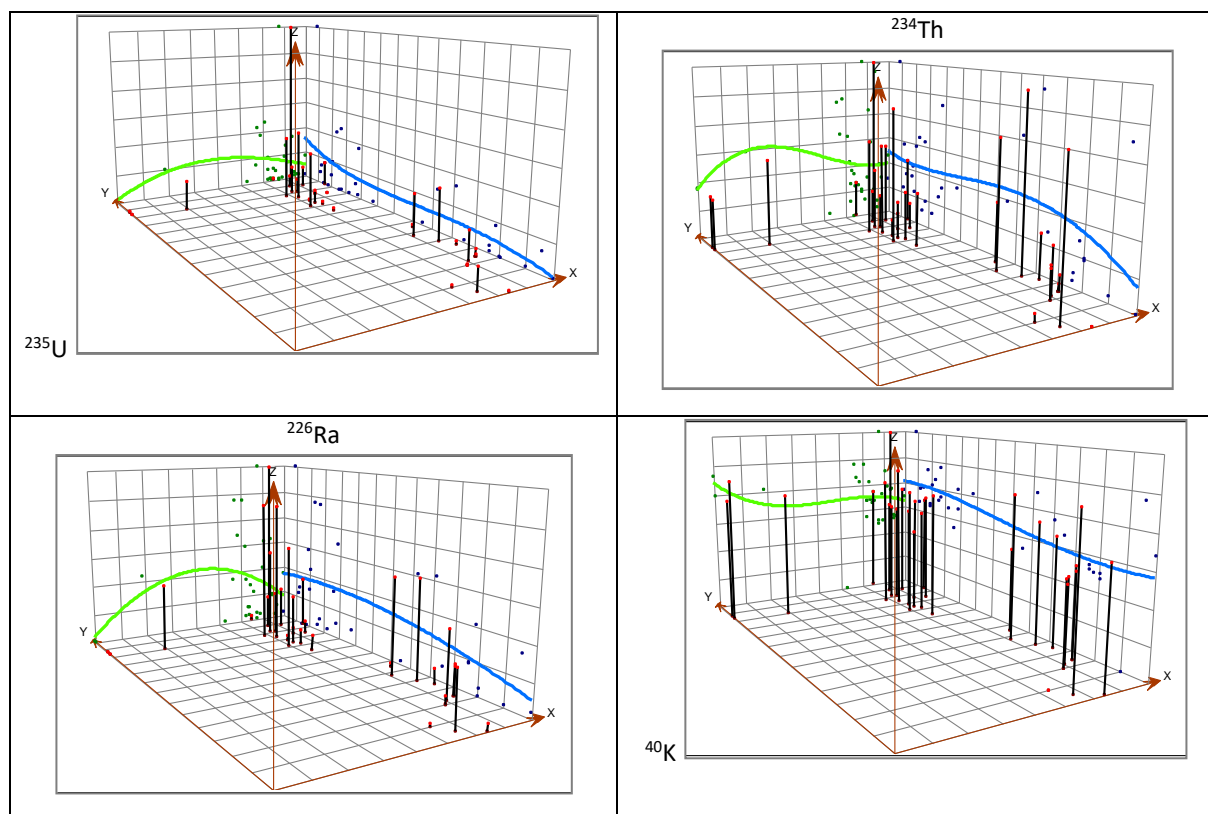
закон на статистическото разпределение. За това свидетелстват мултимодалността и силната асиметрия на хистограмите на разпределенията. Единствено по-близо до условията за нормалност е разпределението на ^{40}K , въпреки мултимодалността, който не се приближава към условията за нормалност след прилагане на логаритмична или Бокс-Кокс трансформация. Дори след прилагане на логаритмични и Бокс-Кокс трансформации хистограмите на разпределение остават мултимодални и преминават към равномерно разпределение на стойностите, което изключва прилагането на кригинг методите за интерполация.



Фигура 1 Хистограми на разпределение на стойностите на ^{235}U , ^{226}Ra , ^{234}Th и ^{40}K . ($\text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$)

Трендовете на стойностите на радионуклидите са представени на **Фигура** . От фигурата се вижда, че трендовете на стойностите на естествените радионуклиди се различават от трендовете на стойностите на хлорофила и каротините. Трендовете на ^{235}U , ^{234}Th и ^{40}K са криви от трети порядък, т.е. с един пик и една долина, като при ^{234}Th и ^{40}K това е характерно както за изток-западна посока (зелената линия), така и за север-южна посока (синя линия). При урана, тренда в изток-западна посока остав крива от втори ред, а при ^{226}Ra и двете криви са от втори ред, като кривата от втори ред в север-южна посока има много слабо изразен конвексен характер. За характерното разпределение на стойностите влияние оказва и кльстеризирането на стойностите – точките на пробовземане и

пробонабиране – в няколко области около щолните, които са и обект на изследването на «ДИАЛ» ЕООД. От гледна точка на анизотропията на данните, както и на идентифициране на замърсяванията с естествени радионуклиди, диаграмата на разпределението на стойностите на семивариограмата (семивариограмен облак) дава добри възможности за идентификация.

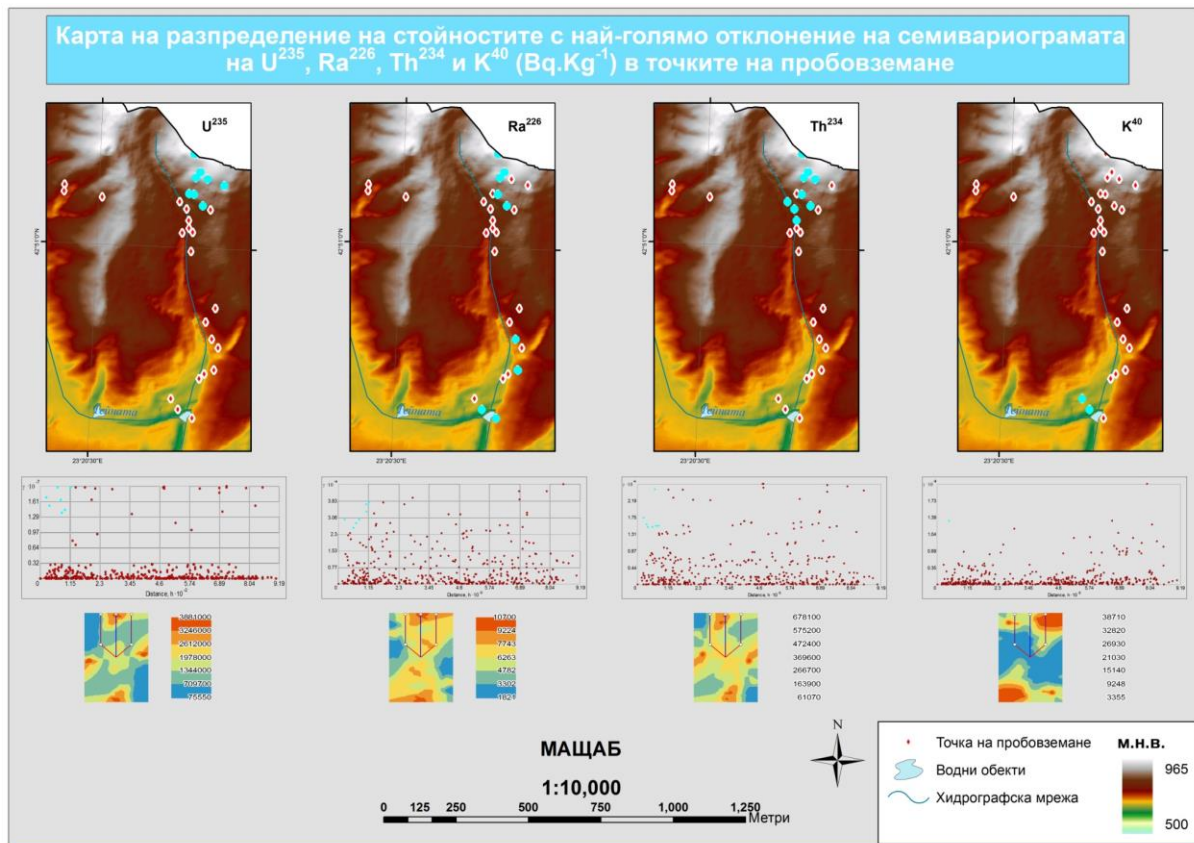


Фигура 2 Тренд анализ на стойностите на разпределение на ^{235}U , ^{226}Ra , ^{234}Th и ^{40}K (Bq.kg^{-1})

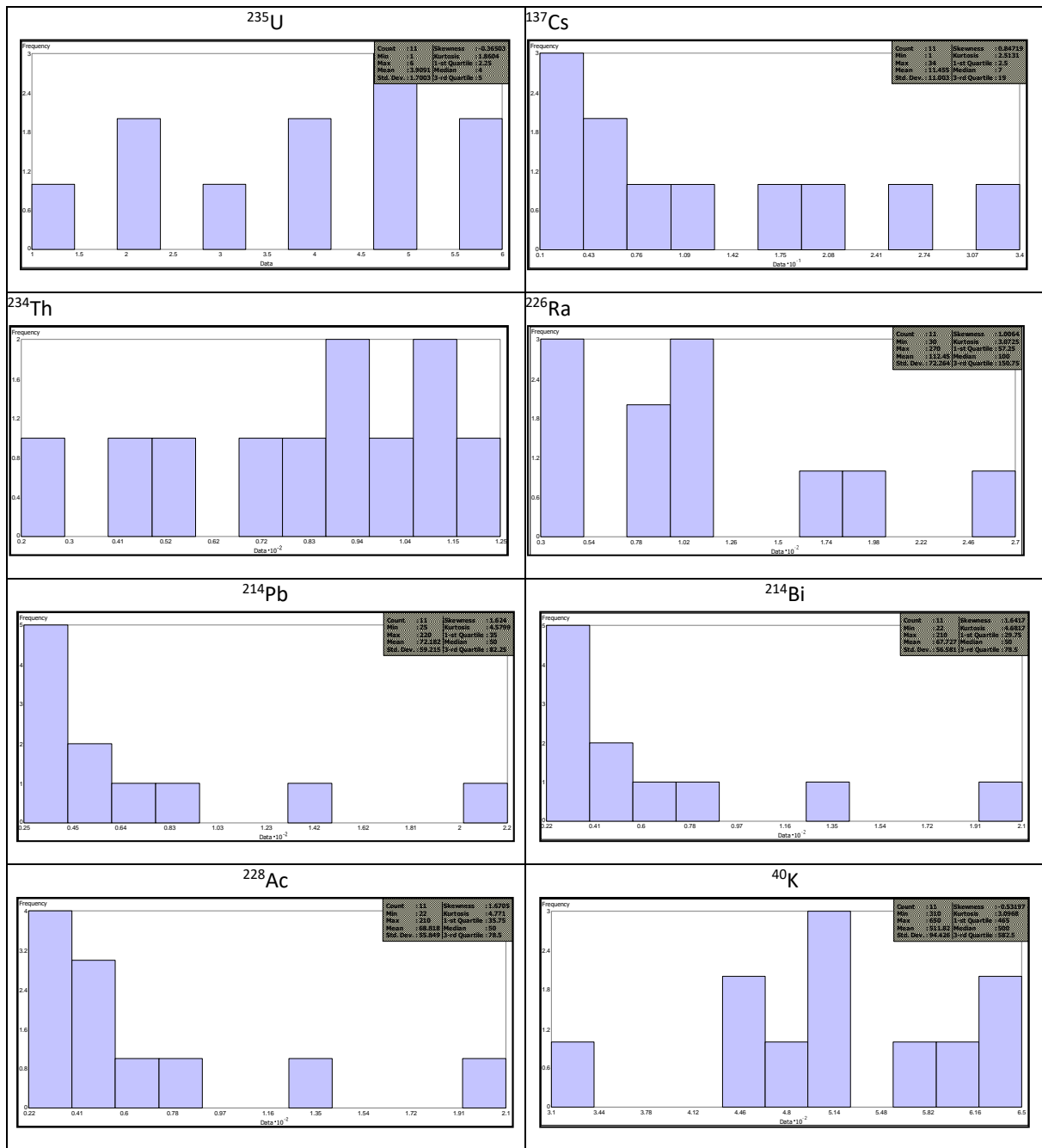
На Error! Reference source not found. са представени семивариограмните облаци на стойностите на ^{235}U , ^{226}Ra , ^{234}Th и ^{40}K и разпределението на точките, които имат най-близко отстояние едни от други, и най-големи разлики в стойностите на семивариограмата. За ^{235}U най-големи различия белжат стйностите в горната част на участък «ИСКРА» или в района на кариерата и табаните на щолна №1 и 2. В тези места са отбелязани и най-големите замърсявания в района. Подобна е и картината на стойностите на ^{234}Th и ^{226}Ra , като различията се дължат най-вероятно на различния химичен състав на скалната маса и почвите, както и на вертикалната (радиална) миграция на радионуклидите. Най-големи различия в специфичната активност на ^{40}K се отбелязва в района на „Киселото” езеро, където почвите около езерото и при незамърсените почви на десния склон на притока на р. Тайна имат голяма разлика в химичния състав. Калия има и сравнително по-подвижни форми отколкото другите

наблюдавани радионуклиди с голям атомен номер и респективно тегло, което предполага и по-лесното му изнасяне надолу по склона.

Резултатите от моделирането на полетата на разпространение на естествените радионуклиди с използване на радиални функции – обратна мултиквадратна са представени на следната Error! Reference source not found.. За сравнение на състоянието на почвите в района през 2011 г. с това през 1993 г. на **Фигура 4** са дадени хистограмите на стойностите на специфичната активност на естествените радионуклиди в района на изследване за изследваните групи от радионуклиди. От Фигура 4 се вижда, че частотното разпределение на стойностите на радионуклидите се отличава от нормалното, което не се променя дори при прилагане на стандартни трансформации на стойностите, като логаритмична, Бокс-Кокс, arcsos и др. Единствено стойностите на ^{214}Pb , ^{214}Bi , ^{228}Ac и ^{40}K се приближават до изискванията за нормалност при логаритмична трансформация на квинтилните им стойности. Трендовете на стойностите на съдържанието и специфичната активност на същите радионуклиди са представени на **Фигура .**

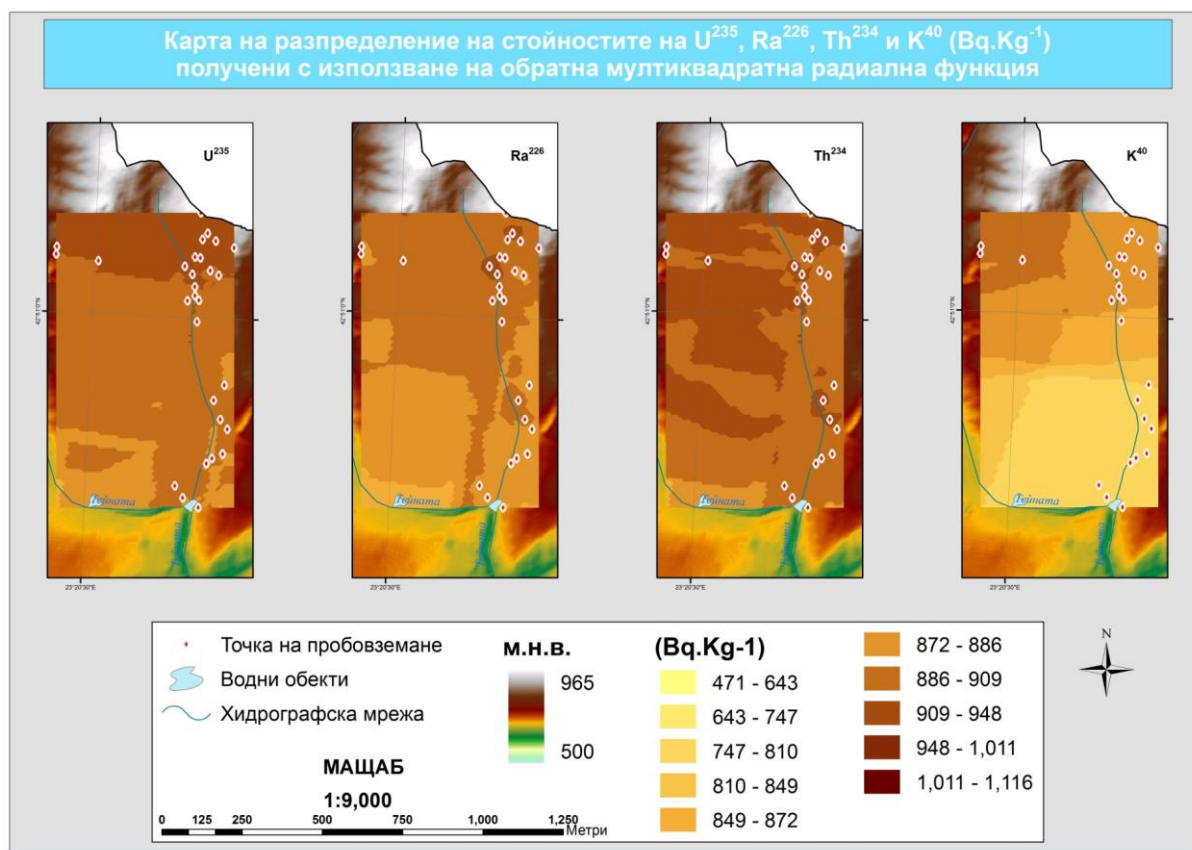


Фигура 3 Карта на разположение на точките на пробовземане със най-голямо отклонение на стойностите на семивариограмата за естествени радионуклиди (1993 г.).



Фигура 4 Хистограми на специфичните активности на естествени радионуклиди в почвите във водосборния басейн на р. Тайна. ($\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$)

От Фигура и Фигура се вижда, че стойностите на специфичната активност на ^{235}U в почвите в района имат приблизително еднакъв тренд в изток-западна посока (зелена линия), докато в север-южна посока стойностите през 2011 г. имат конкавен тренд в сравнение с линията на тренда от втори порядък 1993 г. Сравненията на стойностите на ^{234}Th през 2011 г. с тези от 1993 г. показват подобни зависимости, както при урана, което се дължи най-вероятно на това, че Th е дъщерен продукт на урановото и актиноурановото семейство, т.е. концентрациите му и специфичните му активности зависят от тези на урана.



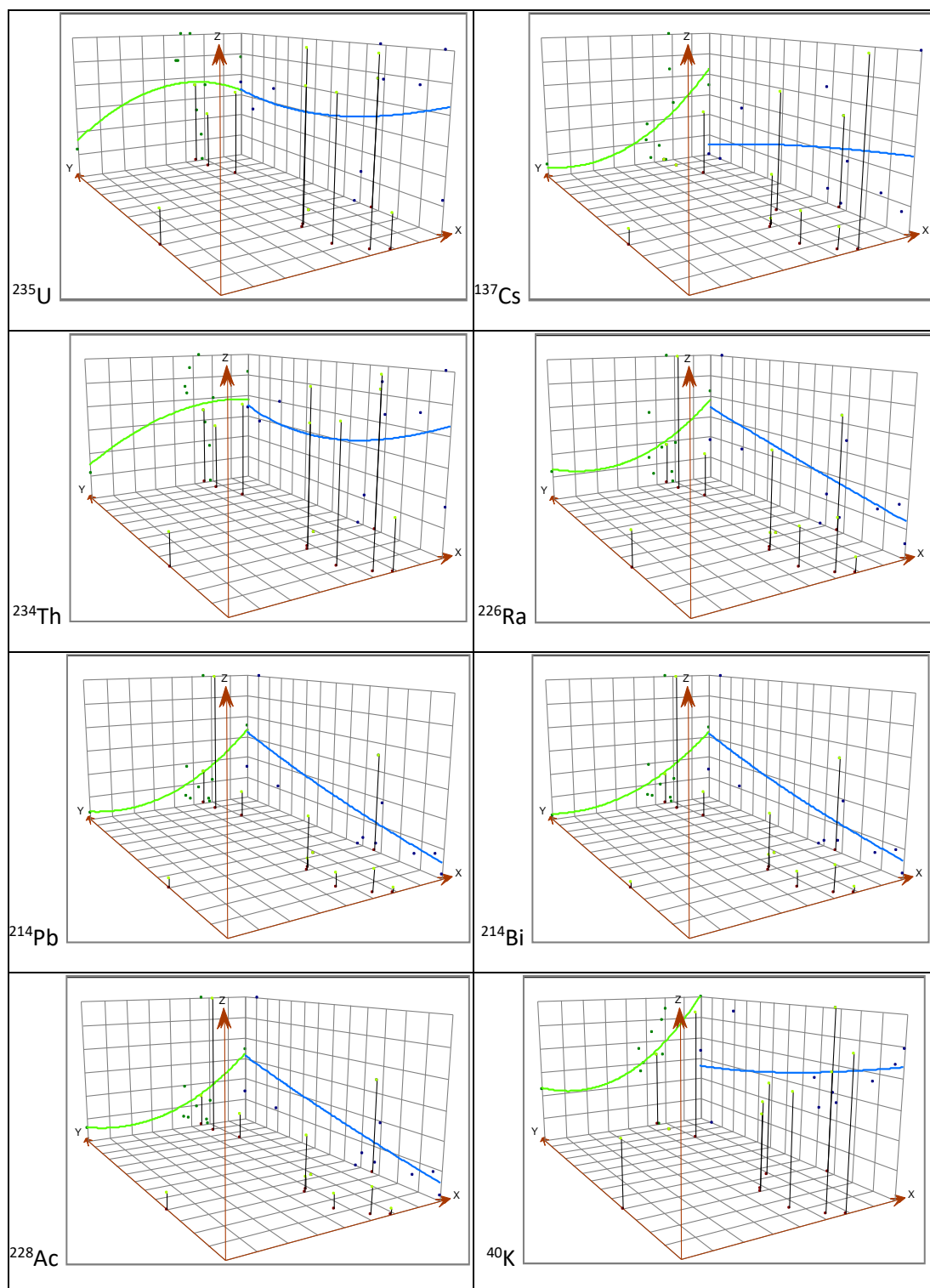
Фигура 5 Поле на разпространение на стойностите на естествените радионуклиди ^{235}U , ^{226}Ra , ^{232}Th и ^{40}K с използване на обратна мултиквадратна радиална функция (1993 г.) ($Bq.kg^{-1}$).

Сравнението на стойностите на специфичната активност на ^{226}Ra показва, напълно променена картина, от конвексен, тренда в изток-западна посока преминава в конкавен през 2011 г., и от слабоконвексен в север-южна посока (синя линия) тренд линията става почти права с намаляване на стойностите в южна посока. Картината при ^{40}K се изменя в посока промяна на стойностите на специфичната активност без видима или с малка промяна на формата на тренд линията. Конвексната линия в изток-западна посока през 1993 г. преминава във почти параболична през 2011 г., като стойностите в източна посока видимо нарастват. Линията от втори порядък в север-южна посока през 1993 г. преминава в конвексна и сменя посоката на тренда, като стойностите от слабонамаляващи в южна посока през 1993 г. бележат покачване през 2011 г.

На Фигура 7 са представени стойностите на семивариограмата с най-голямо отклонение за естествените радионуклиди в почвите за 2011 г.

От Фигура 7 се вижда, че стойностите на ^{235}U са с по-голяма вариабилност в средната и долната част на водосборния басейн, ^{226}Ra запазва високите си стойности на специфичната си активност при кариерата на участък «ИСКРА», но подобно на урана показва аномално високи отклонение на малко разстояние – при „Киселото” езеро, което показва

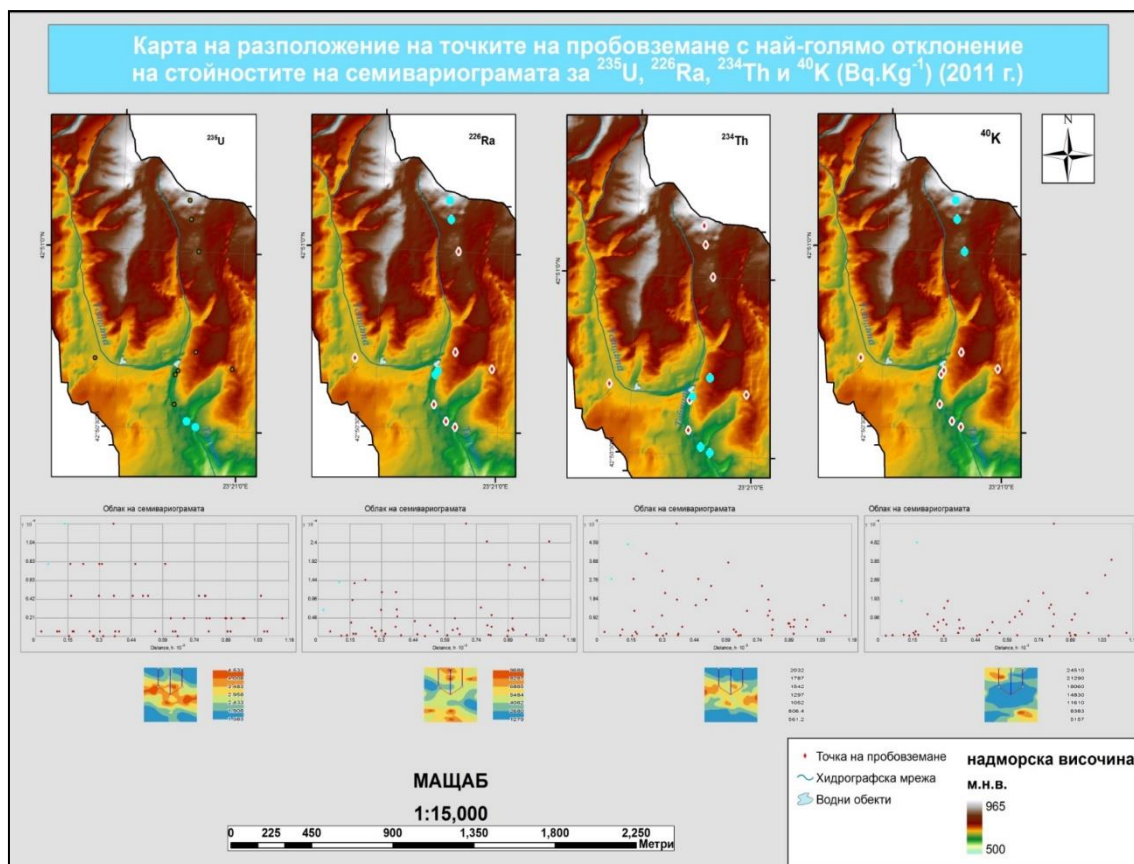
потенциалната му миграция и концентрация в почвите в следствие на водния транспорт.



Фигура 6 Трендове на специфичните активности на естествени радионуклиди в почвите във водосборния басейн на р. Тайна. ($Bq.kg^{-1}$)

Към 2011 г., сорбционната инсталация на участък „ИСКРА” е извън експлоатация и водите от щолните разположени по-високо по склоновете,

преминават безпрепятствено на свободен отток през „Киселото” езеро.



Фигура 7 Карта на разположение на точките на пробовземане с най-голямо отклонение на стойностите на семивариограмата за естествени радионуклиди (2011 г.).

Вероятно тази ситуация е и причина за наблюдаваната картина. Подобно е и състоянието на ^{234}Th , който почти изцяло е мигрирал в долната част на притока на р. Тайна при „Киселото” езеро. Обратно на наблюдаваната картина от 1993 г. Стойностите на ^{40}K нарастват във височина. Друг интерпретация е, че различията от пункт в пункт са големи. Това се дължи на по-голямата мобилност на калия, чийто изотопи са отмити по протежение на речния басейн и най-високите му стойности продължават да се наблюдават при „Кариерата”, която е и основният източник на дъщерните продукти на полуразпада на семействата на актиноурана и тория. Най-големи различия в стойностите на специфичната активност или най-високи стойности на семивариограмата при оловото, бисмута и актиния има в района на кариерата, докато тези различия за цезия са при „Киселото” езеро и пътя над езерото. Тази група радионуклиди принадлежат към семейството на средно и дългоживущите радионуклиди (Попиц, Пенчев, 1989). Мултимодалността на стойностите на специфичните активности на естествените радионуклиди се запазва и прилагането на обикновения и простия кригинг е невъзможно. За сравнимост на резултатите от

интерполацията с резултатите от 1993 г. се използват радиалните функции и по-специално обратната мултиквадратна функция.

- *Оценка на качеството на модела на разпространението на природни (естествени) и техногенни (изкуствени) радионуклиди в почвите на водосборния басейн на р. Тайна.*

Въпреки сравнително добрите стойности получени при валидацията на модела, при кросвалидацията на радиалните функции с останалите методи на интерполация, голямата близост на точките на пробонабиране и пробовземане в областите около щолните и табаните на урановата мина, както и големите разлики в стойностите на малки отстояния води до значителни отклонения в модела на пространственото разпределение на стойностите на специфичната активност на естествените радионуклиди. С отдалечаване от точките на пробовземане и пробонабиране, се увеличава грешката на предсказаните стойности, което ограничава валидността на модела само за района на изследване – участък „ИСКРА”.

Благодарности

Настоящото изследване използва данни от анализи на съдържанието на естествените радионуклиди в иглолистната растителност финансирани по Проект „Повишаване на квалификацията и съхраняване на млад екип от учени в областта на аеро-космическите технологии като предпоставка за мониторинг и опазване на околната среда и превенция на щети от природни бедствия” с Договор № BG051PO001/07/3.3-02/63/170608 в рамките на ОП “Развитие на човешки ресурси” на МОМН, финансиран от Европейския социален фонд (ЕСФ) на който д-р Л. Филчев се явява бенефициент. Искрена благодарност дължа и на екипите на лабораториите към ИП “Н. Пушкиarov”, и ИАООС при МОСВ изготвили геохимичните анализи.

Адрес за кореспонденция

*Проф. д-р Лъчезар Филчев
Институт за космически изследвания и технологии
Българска академия на науките
Ул. Акад. Г. Бончев, Бл. 1, София 1113, Тел. 02 979 2412
E-mail: lachezarhf@space.bas.bg*

DOI: 10.34660/INF.2023.41.39.009

КИБЕР СИГУРНОСТ С KALI LINUX

Йордан Щерев
Никола Цуцумански

CYBER SECURITY WITH KALI LINUX

Yordan Shterev
Nikola Tsutsumanski

***Abstract:** In this article, an overview of the cyber killchain and its purpose is accomplished. In addition, on this basis, the capabilities of Kali Linux for performing testing of local computer machines, networks and some results are presented.*

***Keywords:** Kali Linux, Cyber Secutity, Cyber Killchain.*

Въведение

Развитието на информационните и комуникационните технологии през последните три десетилетия, доведоха до създаване на богато разнообразие от устройства за лично ползване, като мобилни телефони, лаптопи, таблети, навигационни устройства и други. Чрез информационните и комуникационни технологии (ИКТ) се обхващат всички държави, създавайки интерактивна среда от електронни мрежи и информационна инфраструктура използвана за създаване, унищожаване, съхранение, обработка, обмяна на информация, управление на обекти, системи и услуги, наречена „киберпространство” [1,8,13].

От друга страна развитието на обществото в морален аспект значително изостава по отношение на технологичното развитие. Това води до намесата на различни хора и групи в ИКТ, хардуера и най-вече софтуера, които не са в тяхните области на работни дейности. Има тенденция към използването на все по-сложни и интелигентни хакерски атаки. Поради това се появи необходимостта от защита на хардуера и софтуера в държавни и частни организации, на национално и на наднационално ниво, а също така и защитата на личните данни независимо от притежателя и мястото на тяхното съхранение. Ето защо възникна направлението „Киберсигурност” (КС, състояние определено и измерено чрез нивото на конфиденциалност, интегритет, достъпност, автентичност и отказоустойчивост на

информационните ресурси, системи и услуги и се основава на ефективно изграждане и поддръжка на активни и превантивни мерки [4,5,7,9], като част от ИКТ.

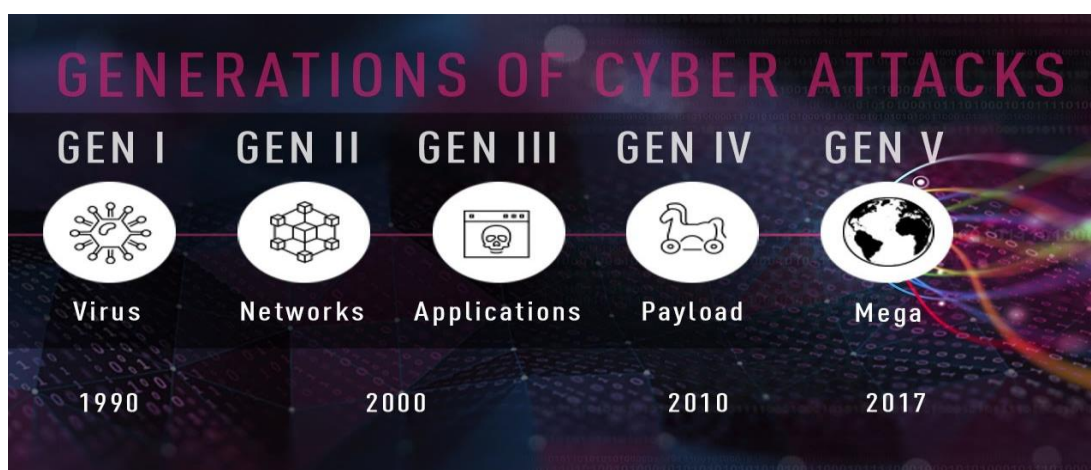
Злонамерените участници и хората, които се опитват да ги спрат, обикновено трябва да научат едни и същи техники, за да могат да постигнат целите си. Експертите по сигурността се нуждаят от задълбочени познания за това как работят хакерите, за да могат да предотвратят всякакви прониквания в техните системи. Обикновено това се постига чрез използване на различни видове тестове за проникване и използване на програми и инструменти, които атакуващият би използвал. Такъв разпространен инструмент в средите на ИКТ е Kali Linux [2,3,10,11,12].

Целта на настоящата статия е да се извърши преглед на cyber killchain, нейното предназначение и на тази основа да се представят възможностите на Kali Linux за извършване на тестване на локални компютърни машини и на мрежи от такива, а също и някои резултати.

Същност на кибератаките

Съгласно Закона за киберсигурност на РБ [1] "Кибератака е опит за разрушаване, разкриване, променяне, забрана, кражба или получаване на неупълномощен достъп до/или неупълномощено използване на информационен актив“.

Извършва се от киберпрестъпници (КП), използващи един или повече компютри срещу един или множество компютри или мрежи. Кибератака (КА) може злонамерено да деактивира компютри, да открадне данни, да използва вече хакнат компютър като стартова точка за други атаки. КП-те използват различни методи за стартиране на КА, включително злонамерен софтуер, фишинг, ransomware, отказ на услуга, наред с други методи.

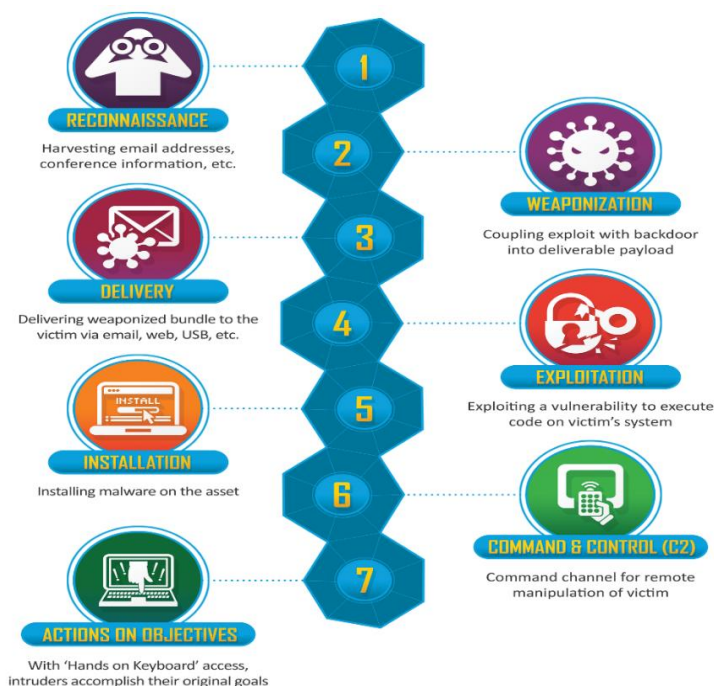


Фигура 1: Поколения на кибер атаки.

Кибер заплахите от поколение V (Фиг. 1) [5,6] вече са реалност за бизнеса. КА-те от Gen V се различават от предишните поколения

кибератаки, защото са многовекторни и полиморфни атаки. КА-та може да започне от смартфон и да завърши в център за данни, след като премине през облак. Тези КА-ки се прикриват по много добър начин. Те използват различно съдържание всеки път, могат да се маскират с легитимни действия на приложения като рекламно съдържание, което може да се превърне в злонамерен софтуер.

Кибер сигурност с метода cyber killchain



Фигура 2. Кибер верига.

Кибер веригата за убийства е адаптация на cyber *killchain* [5,6] на военните, която е поетапен подход, който идентифицира и спира вражеската дейност. Първоначално разработена от *Lockheed Martin* [4,5] през 2011 г., веригата ни показва различните етапи на няколко често срещани кибератаки и точките в които екипът по сигурността може да предотврати, открие или прихване нападателите.

Кибер веригата е предназначена за защита срещу сложни кибератаки, известни също като авангардни постоянни заплахи (*advanced persistent threats*), при които атакуващите прекарват значително време в наблюдение и планиране на КА-и. Най-често те включват комбинация от злонамерен софтуер; рансъмуер, троянски коне, подправяне и техники за социално инженерство и др. Има седем етапа на веригата – фиг. 2:

1. Разузнаването е първият етап от Cyber Kill Chain. Включва проучване на потенциални цели, преди да се извърши тест за проникване. Етапът на разузнаване включва идентифициране на потенциални цели, намиране на техните уязвимости, откриване кои трети страни са свързани с

тях (и до какви данни имат достъп) и проучване на съществуващи входни точки, както и намиране на нови и др.. Разузнаването може да се извърши онлайн и офлайн.

2. *Етапът на въоръжаване* на Cyber Kill Chain настъпва, след като е извършено разузнаване и нападателят е открил цялата необходима информация за потенциални цели, като уязвимости. В етапа на въоръжение цялата подготвителна част на атакуващия е създаването на зловреден софтуер, модифициране на съществуващи инструменти за използване при КА, които да се използва срещу идентифицираната цел.

3. В етапа на *доставка кибероръжията* и другите инструменти на Cyber Kill Chain се използват за проникване в мрежата на целта и достигане до потребителите. Доставката включва: изпращане на фишинг имейли, съдържащи прикачени файлове към зловреден софтуер с редове за тема, които подканват потребителите да кликнат върху тях; хакване в мрежата на организация с използване на хардуерна или софтуерна уязвимост за проникване в нея и др.

4. В етапа на *експлоатация*, нападателите се възползват от откритите уязвимости, за да проникнат допълнително в мрежата на дадена цел и да постигнат целите си. Експлоатацията може да доведе нападателите до техните цели, ако отговорните за мрежата не са приложили мерки за защита.

5. След като КП-те са се възползвали от уязвимостите на целта, те започват етапа на инсталиране на Cyber Kill Chain: опитват се да инсталират злонамерен софтуер и други кибероръжия в целевата мрежа, за да поемат контрола върху нейните системи и да извлекат ценни данни. В тази стъпка може да се инсталират кибероръжия и зловреден софтуер, използвайки троянски коне, скриптове, задни вратички или интерфейси на командния ред.

6. В етапа *C2 (Command and control)* [4,5,6] на Cyber Kill Chain киберпрестъпниците комуникират с инсталирания зловреден софтуер в мрежата на целта, за да инструктират кибероръжията или инструментите. Например, нападателите могат да използват комуникационни канали, за да насочат компютри, заразени със зловреден софтуер “Mirai botnet”[7], да претоварят уебсайт с трафик или C2 сървъри, за да изпълняват компютрите цели за киберпрестъпления.

7. След като КП-те са разработили кибероръжия, инсталирали са ги в мрежата на целта и са поели контрола над мрежата на целта си, те започват последния етап от веригата: *изпълнение на целите за КА*. Докато целите на КП-те варират в зависимост от вида на КА, някои примери включват въоръжаване на ботнет за прекъсване на услуги с КА за разпределен отказ от услуга (DDoS), разпространение на зловреден софтуер за кражба на чувствителни данни от целева организация и използване на ransomware за

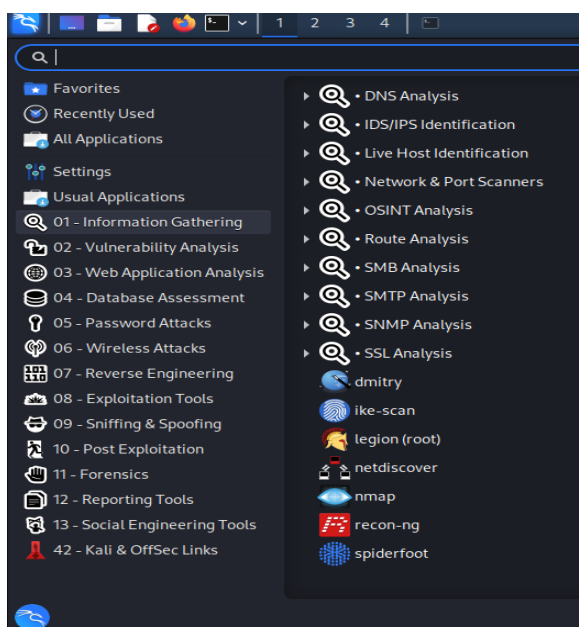
кибер изнудване.

Модела на веригата дава на кибер атакуващите известна индикация за това как организациите структурират защитата си, което може неволно да им помогне да избегнат откриване в ключови моменти от жизнения цикъл на КА. От друга страна, кибератаки пропускат или комбинират стъпки, особено през първата половина на жизнения цикъл. Това дава на организациите по-малко време и възможност да откриват и неутрализират заплахи в началото на жизнения цикъл.

Възможности на Kali Linux

Операционната система (ОС) е основният софтуер, който отговаря за работата на машината. Някои ОС-ми са проектирани за определени цели. ОС за мрежова сигурност, дигитална криминалистика, тестове за проникване или етично хакерство, е Kali Linux [2,3,10,11]. Тя е дистрибуция на Linux, извлечена от Debian, която се поддържа от Offensive Security [12]. Разработен е от Мати Ахарони и Девън Кернс. Проектирана е за мрежови анализатори, тестери за проникване, за тия, които работят под егидата на киберсигурността и анализа. Не е проектирана за общи цели, използва се от професионалисти (тестери за проникване, експерти по киберсигурност, етични хакери) или от тия, които знаят да работят с Linux/Kali.

Характеристики на Kali Linu:



Фиг. 3 Инструменти за събиране на информация.

Kali Linux [3] поддържа повече от 600 инструмента за тестване на проникване като Nmap, Burp Suite, Wireshark, Metasploit Framework, AirCrack-ng, John the Ripper и много други. Тези инструменти са полезни за

хакване и тестване за проникване;

- Той е напълно безплатен и с отворен код;
- Kali Linux поддържа йерархичен стандарт на файловата система или съвместим с FHS (Filesystem Hierarchy Standard);
- Поддържа множество USB, безжични устройства и интерфейси;
- Ядрото е персонализирано и се коригира редовно за всяка уязвимост;
- Всички пакети и хранилища са подписани с GPG (GNU Privacy Guard);
- Поддържа множество езици;
- Кали може да се персонализира напълно. Потребителите могат да персонализират външния му вид по свой избор;
- Поддръжката на ARMEL (Embedded ABI port)[7] и ARMHF (arm hard float)[7] прави Kali Linux достъпна на широка гама от ARM(Advanced RISC Machines [6] устройства като Raspberry Pi и BeagleBone Black;
- Kali Linux поддържа функции за достъпност за потребители с увредено зрение с гласова обратна връзка и брайлова хардуерна поддръжка.

Специални характеристики на Kali Linux:

- *Персонализиращи се ISO*: Всеки изследовател на сигурността има свои собствени нужди. Потребителите могат да генерират своя персонализиран оптимизиран ISO файл с избран набор от пакети;
- *Live Boot*: Kali поддържа Live Boot с помощта на USB устройство, без да влияе на операционната система на хоста;
- *Шифроване*: Kali Linux предоставя механизъм за криптиране, записаните файлове да могат да се защитят с помощта на LUKS Nuke контейнери;
- *Kali Undercover*: Външният вид на Kali Linux може да се смеси с Windows OS. Ако се активира функцията Kali Undercover, менюто и работният плот ще изглеждат като на Windows OS. Полезно е, когато се извършва пентест в клиентски офис;
- *Win-Kex*: Kali Linux може да се използва от подсистемата на Windows за Linux или WSL (Windows Subsystem for Linux);
- *Kali NetHunter*: Предоставя Android приложение с отворен код, което може да се използва за обичайни атаки с Bluetooth, с USB, HID клавиатура и др.;
- *Поддържа всяка платформа*: Kali работи в ARM, Bare Metal, Cloud (AWS и Azure), контейнери (Docker, LXD), WSL и от VirtualBox и VMware.

Kali Linux е една от най-утвърдените дистрибуции на Linux за тестване на различен вид инструменти за хакване и има голямо разнообразие от такива.

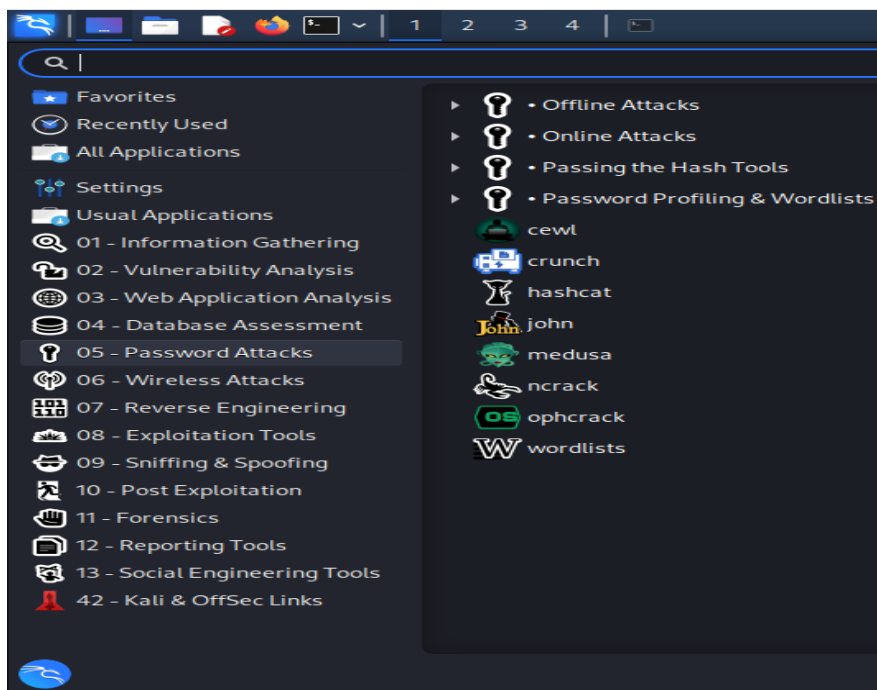
Инструменти на Kali Linux [8]

Информация, която може да се събере с Kali Linux чрез инструментите

в дясната част на фигурата) в папка *Information gathering folder* – фиг. 3:

- DNS записи;
- IDS/IPS събития;
- Мрежово сканиране за портове (предоставя информация за софтуера на сървъра или услугите), MAC адреси и банери на системите на целта;
- открива ОС-ми;
- Маршрутизиране (мрежови конфигурации);
- Потребители (влезли в целевата система, привилегии в акаунта)
- Системна информация. Елементи като SMB (Server Message Block) — мрежов протокол на приложно ниво за отдалечен достъп), отворени мрежови ресурси и работещи процеси за потребителски акаунти;
- SSL (Secure Sockets Layer, защитени системи и уебсайтовете);
- работещи VPN в мрежата и оторизирани ли са?;
- Глас през IP (Протокола в собствена VLAN ли е? Могат ли пакетите да се прихванат?);
- устройства работят ли с SNMP (Simple Network Management Protocol)?;
- Могат ли имейл адресите да се прихванат за по-нататъшни киберпрестъпления като фишинг или рансъмуер?.

Инструменти за работа с пароли (в дясната част на фигурата) на Kali Linux чрез папка *Password attacks* – фиг. 4. Папката съдържа инструменти за разбиване на пароли и създаване на списъци с думи. Някои от тях са:

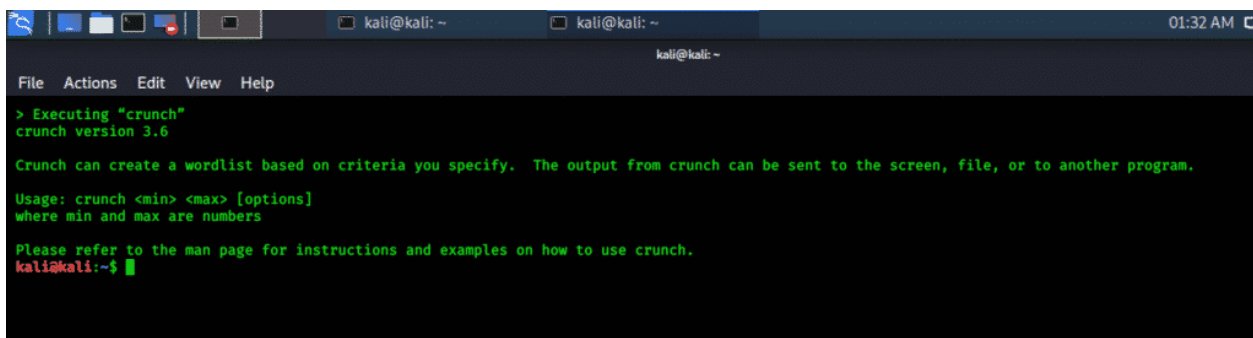


Фиг. 4 Инструменти за работа с пароли на Kali Linux.

CeWL инструмент, който работи с уникален URL адрес с определена дълбочина, следва външни връзки и извежда списък с думи, които се

използват за разбиване на пароли. Може да се стартира от команден ред.

Инструмент *Crunch* за атака на пароли генерира списък с думи, където стандартен или персонализиран набор от знаци може да бъде определен за използване – фиг. 5. Генерира всички възможни комбинации от пароли в много бърз процес. Може също така да раздели резултатите по размер на файла и поддръжка в случай на затруднение. Така генерира отчет за състоянието на множество файлове.



```
kali@kali: ~
File Actions Edit View Help
> Executing "crunch"
crunch version 3.6

Crunch can create a wordlist based on criteria you specify. The output from crunch can be sent to the screen, file, or to another program.

Usage: crunch <min> <max> [options]
where min and max are numbers

Please refer to the man page for instructions and examples on how to use crunch.
kali@kali:~$
```

Фиг. 5 Инструмент *Crunch*.

Инструмент *Hashcat* е един от най-популярните, бързи и експертни инструменти за възстановяване на пароли. Той поддържа 5 режима на КА и над 300 алгоритми за хеширане. Поддържа CPU, GPU и други хардуерни ускорители. Има множество различни опции за поддръжка на множество аргументи по време на възстановяване на парола.

Джон Изкормвача инструментариум “*John the Ripper*” е бърз и надежден инструментариум, който съдържа многобройни режими за кракване. По подразбиране работи с много типове хеш функции като традиционен DES, bigcrypt, FreeBSD, MD5, Blowfish, BSDI разширен DES, Kerberos и MS Windows LM хешове. Може да работи със SHA и Sun MD5 хешове. Той също така поддържа OpenSSH частни ключове, PDF файлове, ZIP, RAR архиви, Kerberos TGT. Има много скриптове за различни цели, като *unafs* (предупреждение за слаби пароли), *unshadows* (комбинирани пароли), уникален (дубликатите се премахват от списъка с думи).

Други инструменти за работа с пароли са *Medusa*, *Ncrack*, *Ophcrack*, *Wordlists*, *Mimikatz*.

Папката за *безжични атаки* има инструменти за пробиване на *wifi* мрежи и *Bluetooth* устройства, ето някои от инструментите: - фиг. 6

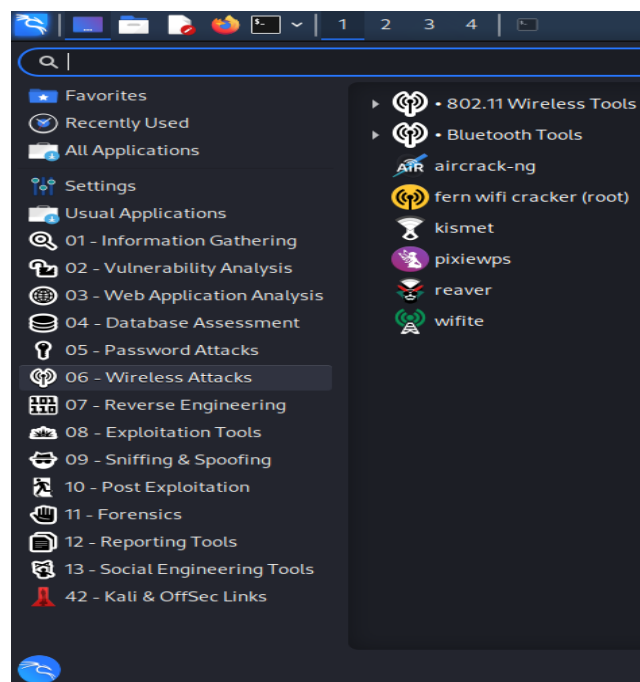
Aircrack-ng е най-широко използваният безжичен инструмент за кракване на пароли. Той е рамка за безжична сигурност с набор от инструменти, използвани за улавяне на безжичен трафик. Използва се за кракване и възстановяване на WEP/WPA/WPA2 ключове. Пакетът от инструменти може да се използва за извършване на наблюдение (улавяне на мрежовия трафик),

атака, тестване на безжичен хардуер. Някои от функциите са:

- Изпълнява се на платформи Windows, Linux, iOS и Android;
- Може да се използва за улавяне на 802.11a/b/g трафик;
- Настройка на измамна точка за достъп;
- Кракване и възстановяване на WEP предварително споделен ключ, статистически атаки в комбинация с грубо форсиране (по-бърз от други инструменти за кракване на WEP пароли);
- Може да се използва с всяка мрежова интерфейсна карта, която поддържа необработен режим на наблюдение;
- Може да се използва за кракване на WPA/WPA2 предварително споделени ключове с помощта на атаки, базирани на речник.

Fern Wi-fi Cracker е базиран Python. Използва се за извършване на одити и атаки за безжична сигурност, за кракване и възстановяване на WEP/WPA /WPS ключове (базирани на речник или атаки, базирани на WPS). Може да се използва и за извършване на други мрежови атаки срещу безжични и кабелни мрежи. Някои от функциите му включват:

- Изпълнява се на Windows, macOS и Linux платформи;
- Може да се използва за кракване на WEP с помощта на атаки като ARP Request Replay, Caffe-Latte атаки, Chop-Chop атаки и други;
- Може да се използва за извършване на груби атаки на HTTP, HTTPS,



Фиг. 6 Инструменти за безжични атаки.

TELNET и FTP сървъри;

- Може да се използва за отвличане на сесии в различни режими като

пасивни режими, Ethernet режими и други;

- Използва автоматична система за КА на точки за достъп.

Wifite се използва за едновременно атакуване на WEP/WPA/WPS криптирани безжични мрежи. Може да се използва и за одит на безжични мрежи чрез метода „настрой и забрави“. Той използва инструментите, свързани с Aircrack-ng, Reaver и PixieWPS. Някои от функциите му включват:

- Открива точки за достъп по тяхната сила на сигнала и краква първо най-близките точки за достъп;
- Автоматизиране и персонализиране процеса на КА (с настройки на WEP/WPA над определена сила на сигнала, канали и други);
- Може да се използва за улавяне на необходимата информация, необходима за *pixie-dust* атака от инструмента PixieWPS.
- Прави атакуващия анонимен чрез промяна на MAC адреса на атакуващия преди КА и когато тя е завършена.

Други инструменти за работа с безжични устройства пароли са *PixieWPS*, *WireShark*, *Spoofstooth* за работа с *Bluetooth* устройства и др.

След сканиране, събиране на информация и намиране на уязвимост идва основната концепция за хакване чрез *използване на уязвимостти*. Някои инструменти са:

С *Nmap* могат да се намерят работещи хостове в мрежа, да сканират и идентифицират отворени портове, които са уязвими за атаки от хакери, за намиране на използваната ОС, така че уязвимостите да бъдат използвани.

Рамката *Metasploit* е мощен инструмент за събиране на информация, тестване на проникване много лесен за използване. Ползва се от етични хакери и от КП за идентифициране на уязвимости в мрежи и сървъри.

Maltego дава възможност да се използват графично базирани инструменти за извличане на данни, мрежов анализ и визуализация. Ползва се в задачи за събиране на информация за IP диапазони, картографиране на домейни, намиране на свързани устройства в мрежата и др.

Wireshark е често използвани инструменти за извличане на пакети, . Използва се от специалисти по киберсигурност, мрежови администратори и хакери за събиране на информация от мрежи. Мрежовите пакети съдържат изобилие от информация и *Wireshark* улавя тези данни за по-късен анализ.

Netcat е инструмент за създаване на прости връзки между хостове. Може да се използва и заедно с TCP и UDP проиоколите за сканиране на портове или създаване на задни вратички. Може да чете и записва данни, ако са конфигурирани подходящите портове. Подходящ е за тестер за проникване при работа в областта на киберсигурността.

SQLMap е инструмент с отворен код, който се използва за автомати-

зиране на процеса на ръчно инжектиране. Поддържа 34 бази данни, включително MySQL, Oracle, PostgreSQL и др.

Заклучение

В тази статия е направен преглед на cyber killchain, предназначението ѝ, нейната структура, етапи на изпълнение и цел. На тази основа са представени характеристиките на Kali Linux, инструменти за събиране на информация, за работа с пароли и с безжични мрежи. Освен това са представени и инструменти за използване на уязвимостите, анализ на събраната информация.

Приложение на инструменти на Kali Linux за тестване на проникването (Intrusion Detection Systems – IDS), за регистриране и превенция на прониквания (Intrusion Detection and Prevention Systems – IDPS) е едно бъдещо такова поле за изследване.

Литература

1. Закон за киберсигурност на РБ, Обн. ДВ. бр.94 от 13 Ноември 2018г. Последно изм. ДВ. бр.25 от 29 Март 2022г.
2. Raphaël Hertzog, Jim O’Gorman, Mati Aharoni, and Joe O’Gorman, Kali Linux Revealed, OffSec Press, ISBN: 978-0-9976156-0-9, 2021.
3. <https://www.kali.org>
4. <https://www.lockheedmartin.com/>
5. <https://www.lockheedmartin.com/en-us/capabilities/cyber/cyber-kill-chain.html>
6. <https://www.varonis.com/blog/what-is-c2>
7. <https://www.cloudflare.com/learning/ddos/glossary/mirai-botnet/>
8. <https://www.arm.com/>
9. <https://linuxhint.com/about-arm64-armel-armhf/>
10. <https://www.kali.org/tools/>
11. <https://www.kali.org/docs/introduction/what-is-kali-linux/>
12. <https://www.offensive-security.com/category/kali-linux/>
13. <https://ccdcoe.org/>

Адрес за кореспонденция:

Йордан Щерев Иванов, доц. д-р, НВУ “В. Левски” – В. Търново, 0887 947 708, jshterevev@abv.bg

Никола Николаев Цуцумански, НВУ “В. Левски” – В. Търново, 0884 207 866, nikolatsutsumanski@yahoo.com

DOI: 10.34660/INF.2023.38.45.010

4G И 5G МОБИЛНИ КЛЕТКИ В ГРАД ВЕЛИКО ТЪРНОВО

Йордан Щерев
Калоян Колев

4G AND 5G MOBILE CELLS IN THE CITY OF VELIKO TARNOVO

Yordan Shterev
Kaloyan Kolev

***Abstract:** The aim of this paper is to present the results of a study on the number of mobile cells using data applications based on a sample collected over four days in an operational network in the city of Veliko Tarnovo, Bulgaria. Data on the number of mobile cells were obtained by measurements. UE was connected to 4G and 5G radio base stations located at different locations in the city.*

***Keywords:** 4G, 5G, Mobile cells, User equipment.*

1. Въведение

В телекомуникациите 5G (5-то поколение) е технологичният стандарт от пето поколение за широколентови клетъчни мрежи, които компаниите за клетъчни телефони започнаха да внедряват в световен мащаб през 2019 г. и е планираният наследник на 4G(4-то поколение) мрежите, които осигуряват свързаност с повечето съвременни мобилни телефони. Предвижда се 5G мрежите да имат повече от 1,7 милиарда абонати и да представляват 25% от световния пазар на мобилни технологии до 2025 г., според GSM Association и Statista.[1][2].

Броят на 5G глобалните връзки се очаква да достигне един милиард през 2022 г. – цифра, която се очаква да се удвои до два милиарда до 2025 г. – до който момент 5G връзките ще съставляват една четвърт от всички мобилни устройства връзки. [3].

За правилното функциониране на мобилната мрежа е необходим определен брой клетки в дадена зона, които да осигуряват нейното покритие.

$$(2) \quad S = PG/4\pi R^2,$$

където S плътност на мощността;

P е захранване на антената;

G е усилване на мощността на антената;

R е разстояние до центъра на излъчване на антената.

Нивата на изходна мощност на антената в реална работа обаче като цяло са много по-малки от максимално възможната мощност поради различни фактори, като отразяване, поглъщане, дифракция и др.

Облъчването на хора от радиочестотни (RF) ЕМП, излъчвани от UE , е правопропорционално на неговата изходяща мощност:

$$(3) \quad P_d = \Delta D / \Delta t ,$$

където P_d е мощността на погълната доза;

Δt – времето за натрупването на дозата;

ΔD – погълната доза.

Електронните преходи възникват в атомите и молекулите поради абсорбцията или излъчването на електромагнитно лъчение (обикновено UV или видимо). Промяната на енергията, свързана с прехода, е свързана с честотата на електромагнитната вълна чрез уравнението на Планк (1),

В 5G честотите варират от 3 до 30GHz[4]

В настоящата статия са представени и обсъдени резултати от направени измервания на гъстотата, честотните ленти и разположението на GSM клетки от различни поколения чрез UE (User equipment).

2. Методи

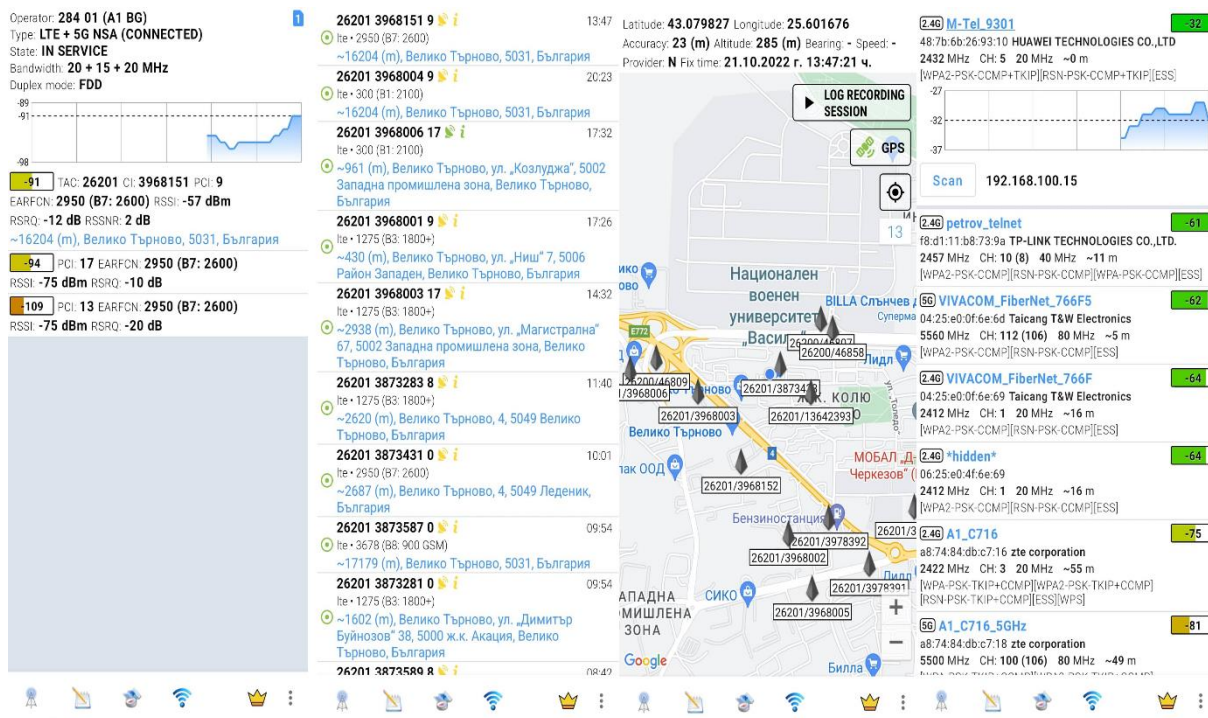
Измервания бяха проведени в мрежата A1 в България с помощта на мобилно приложение за NetMonitor(Фигура1.)[5]. То има възможност да показва разширена информация за 2G / 3G / 4G / 5G (NSA и SA) клетъчна мрежа и наблюдаване състоянието на клетъчната мрежа чрез събиране на данни за клетъчни кули. Открива също агрегирани носители. Информацията е представена и се разглежда в различни раздели:

Раздел Cell е началния екран показващ мобилния оператор, типът и поколението на мобилната мрежа, състоянието на мрежата, честотен интервал и дуплексен режим. В раздела също има информация за обслужващата клетка: TAC (Location Area Code/Tracking Area Code), CI (Cell Identification), PCI (Physical Cell ID), EARFCN(E-UTRA Absolute Radio Frequency Channel Number), RSSI(Received Signal Strength Indicator), RSRQ(Reference Signal Received Quality), RSSNR(Reference Signal Signal to Noise Ratio), адрес според задания при програмирането на обслужващата клетка, TA(Timing Advance), който показва приблизително разстояние до клетката. Показана е и част от същата информация за съседни(не обслужващи в момента клетки), които са предполагаеми за използване в следващ момент.

В раздел Log е показана уникален идентификатор, честота и зададен адрес за записани клетки, които са били използвани в даден предишен момент. В раздела може да се показват база данни със същата информация за клетките свалена от Internet.

В раздел Map е показана карта с точните местоположения, зададен адрес и разстояние до използваните в предишен момент клетки.

Раздела Wi-Fi показва наличните мрежи с тяхната идентификация, уникално име, честота, канал на работа и сила на излъчване, според местоположението им.



Фигура 1. Мобилно приложение NetMonitor

Според поколението и технологията на мрежата за която се използват антените и клетките се различават една от друга. Най-общо могат да бъдат разделени на GSM(2G), WCDMA(3G-UMTS), LTE(4G), NSA(5G)[6]. Отделно всяко поколение се характеризира с особена честота, честотен интервал, система за достъп и различно ядро на мрежата.

Таблица 1. Списък на GSM поколения					
FEATURES					
Start/Development	1970/1984	1980/1999	1999/2002	2000/2010	2010/2015
Technology	PS, NMT, TACS	GSM	WCDMA	LTE, WiMax	MO, mm Waves
Frequency	30 kHz	1.8 GHz	1.6 – 2 GHz	2 – 8 GHz	(1)* 3-30 Ghz
Bandwidth	2 kbps	14.4 – 64 kbps	2 Mbps	0 Mbps – 1 Gbps	Gbps and higher
AccessSystem	FDMA	TDMA/CDMA	CDMA	CDMA	OFDM/BDMA
Core Network	PSTN	PSTN	Packet Network	Internet	Internet

*- за NSA и друг тип мрежи

Съгласно Таблица 1 с всяко следващо поколение се повишава и честота на сигналите в мрежата. Това обуславя използването на повече на брой антени за дадена площ.

Таблица 2. Списък с бандове и честоти

BAND	ДИАПАЗОН	
	от	до
HF	3 MHz	30 MHz
VHF	30 MHz	300 MHz
UHF	300 MHz	1 GHz
L	1 GHz	2 GHz
S	2 GHz	4 GHz
C	4 GHz	8 GHz
X	8 GHz	12 GHz
K _U	12 GHz	18 GHz
K	18 GHz	26 GHz
K _A	26 GHz	40 GHz
V	40 GHz	75 GHz
W	75 GHz	111 GHz

Съгласно Таблица 2 различните поколения в GSM мрежата според честотния им диапазон попадат в различни бандове. Като 4G попада в L и S band, а 5G вече от S до K band.

3. Резултати

Изследването беше направено през периода от 14.09.2022 г. до 18.09.2022 г. при свързаност към различни клетки, принадлежащи към А1 България в 5G NSA мрежа в град Велико Търново. Всяка клетка съответства за покритието на географска област, в която има достъп до радиосигналите излъчвани от предавател в определен канал и определено поколение мрежа.

В изследването резултатите са сортирани в категории спрямо поколението и честота на клетката в мрежата.

3.1. 4G и 5G мобилни клетки в град Велико Търново на оператор А1

Таблица 3. Измервания на мобилни клетки в град Велико Търново на оператор А1

№	Cell Id	Network Type	Down-link Freq (MHz)	Up-link Freq (MHz)	Latitude	Longitude	dBm	Адрес град Велико Търново 5000
1	3968001	4G	1812,5	1717,5	43,078682	43,078682	-97	„Ниш“ 7, 5006 Район Западен
2	3965444	5G	2140	1950	43,072628	25,621753	-96	ул. „Магистрална“, 5003
3	3980805	5G	2140	1950	43,072978	25,619373	-106	Район Западен, 5002
4	3806725	5G	2140	1950	43,072993	25,619226	-99	бул. „Краков“ 2А, 5005 Район Западен

Радиационната безопасност в съвременния свят 16-18.11 2022

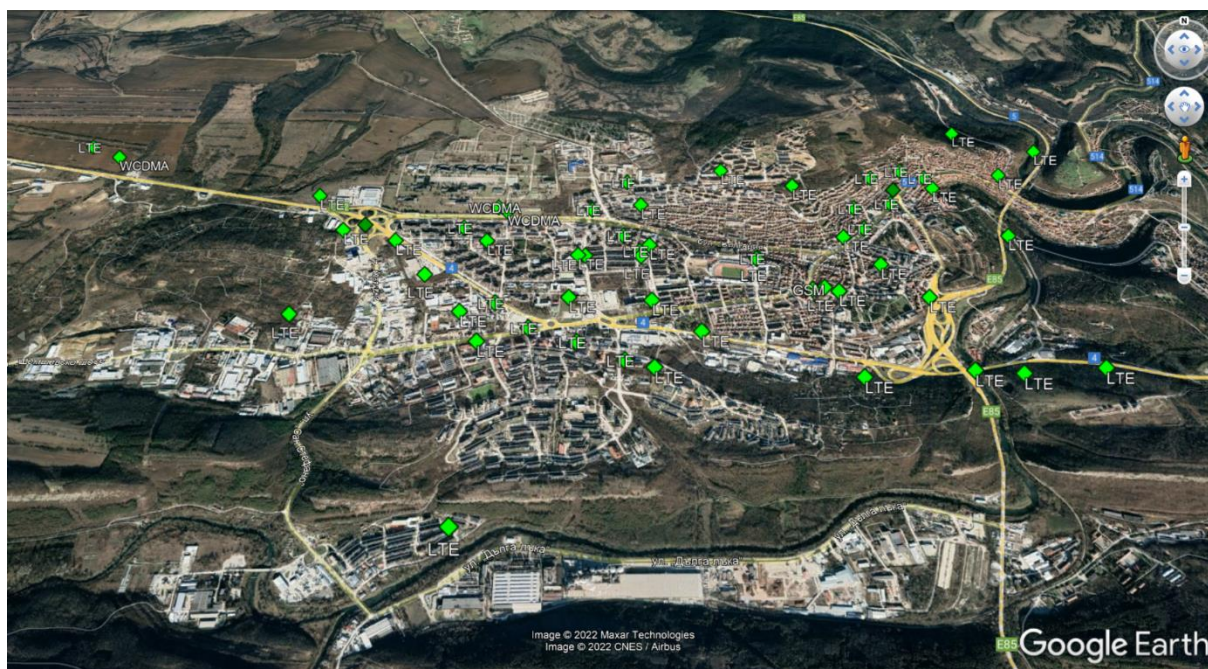
5	3965446	5G	2140	1950	43,073159	25,61828	-92	, 5002 България
6	3965444	5G	2140	1950	43,07319	25,617951	-87	ул. „Магистрална“, 5003
7	4131845	5G	2140	1950	43,073259	25,617754	-91	, 5002 България
8	3806728	5G	2140	1950	43,073573	25,615385	-85	бул. „Краков“ 4А, 5005 Район Западен
9	13642245	5G	2140	1950	43,073688	25,61436	-72	л. „Магистрална“ 17, 5002 ж.к. Зона Б
10	3806725	5G	2140	1950	43,07371	25,61412	-72	бул. „Краков“ 2А, 5005 Район Западен
11	13642245	5G	2140	1950	43,074023	25,610331	-83	, 5031, България
12	2762245	5G	2140	1950	43,074133	25,608735	-81	двор на дворец левски, бул. „Краков“ 3, 5005 ж.к. Колю Фичето
13	3980805	5G	2140	1950	43,074439	25,62633	-83	ул. „Магистрална“, 5003
14	3978548	3G	947,8	903,8	43,074567	25,606722	-80	ул. „Магистрална“, 5003
15	3978244	5G	2140	1950	43,074599	25,606662	-87	ул. „Магистрална“, 5003
16	3978245	5G	2140	1950	43,074856	25,606067	-91	ул. „Магистрална“, 5003
17	3980804	5G	2140	1950	43,076248	25,627977	-82	ул. „Магистрална“, 5003
18	3978244	5G	2140	1950	43,076778	25,605268	-72	ул. „Магистрална“,
19	3870725	5G	2140	1950	43,077025	25,62883	-77	ул. „Магистрална“, 5003
20	3968004	5G	2140	1950	43,077526	25,605145	-67	ул. „Магистрална“, 5003
21	3970565	5G	2140	1950	43,077601	25,628925	-88	ул. „Акация“ 6, 5000 Център
22	3978246	5G	2140	1950	43,077689	25,604804	-73	ж.к. Колю Фичето, 5005
23	3968004	5G	2140	1950	43,07821	25,603787	-81	л. „Георги Бакалов“, 5005 ж.к. Колю Фичето
24	3870724	5G	2140	1950	43,078319	25,628938	-76	ул. „Страцин“ 8, 5000 Район Западен
25	3970565	5G	2140	1950	43,078486	25,628994	-83	ул. „Акация“ 6, 5000 Център
26	3870724	5G	2640	2520	43,078713	25,629178	-76	ул. „Страцин“ 8, 5000 Район Западен
27	3968006	5G	2140	1950	43,079507	25,601453	-88	ул. „Козлуджа“, 5002 Западна промишлена зона
28	3968004	5G	2140	1950	43,079641	25,60146	-79	ж.к. Колю Фичето, 5005
29	3873282	5G	2140	1950	43,080072	25,605152	-80	„Архитект Георги Козаров“ 1, 5005 ж.к. Колю Фичето
30	3970565	5G	2140	1950	43,080252	25,630815	-94	ул. „Акация“ 6, 5000 Център
31	3968001	4G	1812,5	1717,5	43,080305	25,605216	-90	„Ниш“ 7, 5006 Район Западен
32	3868163	4G	1812,5	1717,5	43,080488	25,612428	-86	Освобождение“ 124, 5006 ж.к. Акация
33	13642241	4G	1812,5	1717,5	43,080515	25,612079	-82	, 5031 България
34	3873282	4G	1812,5	1717,5	43,08063	25,605373	-84	„Архитект Георги Козаров“ 1, 5005 ж.к. Колю Фичето
35	13642243	4G	1812,5	1717,5	43,080639	25,608202	-78	л. „Полтава“ 1, 5005 ж.к. Колю Фичето
36	3896325	5G	2140	1950	43,080799	25,631557	-86	„Марно поле“ 8, 5000 Център
37	3970566	5G	2140	1950	43,080984	25,62591	-81	5000 ж.к. Акация
38	13642241	4G	1812,5	1717,5	43,081169	25,612307	-72	ул. „Беляковско шосе“, ж.к. Акация
39	2626565	5G	2140	1950	43,081449	25,625432	-85	ул. „Черни връх“, 5000 ж.к. Акация
40	3970564	5G	2640	2520	43,081453	25,632519	-82	„Александър Пенчев“ 9А, 5000 Велико Търново Център

Радиационната безопасност в съвременния свят 16-18.11 2022

41	13642243	5G	2140	1950	43,081665	25,611915	-90	ул. „Беляковско шосе“ 1, ж.к. Акация
42	3896326	5G	2140	1950	43,081802	25,632885	-67	бул. „Христо Ботев“ 3-1, 5000 Център
43	4113926	5G	2140	1950	43,0826	25,630317	-59	ул. „Зеленка“ 21, 5000 Център
44	2626564	5G	2140	1950	43,082776	25,624895	-75	п. „Алеко Константинов“, 5000
45	3873282	45G	1812,5	1717,5	43,083053	25,6113	-94	„Архитект Георги Козаров“ 1, 5005 ж.к. Колю Фичето
46	13642243	4G	1812,5	1717,5	43,083162	25,611335	-97	, 5031 България
47	3873281	4G	1812,5	1717,5	43,083356	25,611233	-100	„Димитър Буйнозов“ 38, 5000 ж.к. Акация
48	2626566	5G	2140	1950	43,083372	25,621788	-92	Алеко Константинов“ 29, 5000 ж.к. Акация
49	2626564	5G	2140	1950	43,083657	25,628654	-102	, 5031 България
50	2626563	4G	1812,5	1717,5	43,083773	25,619961	-95	п. „Камен Зидаров“ 6, 5000 ж.к. Каргала
51	3896323	4G	1812,5	1717,5	43,083774	25,628888	-105	п. „Цанко Церковски“ 10, 5000 Център
52	2626561	4G	1812,5	1717,5	43,08378	25,628896	-101	ул. „Магистрална“, 5003
53	3873281	4G	1812,5	1717,5	43,083816	25,620174	-90	„Димитър Буйнозов“ 38, 5000 ж.к. Акация
54	2626563	4G	1812,5	1717,5	43,08382	25,620372	-93	п. „Камен Зидаров“ 6, 5000 ж.к. Каргала
55	2626561	4G	1812,5	1717,5	43,083872	25,628995	-100	ул. „Магистрална“, 5003
56	3896323	5G	2140	1950	43,08398	25,629086	-108	п. „Цанко Церковски“ 10, 5000
57	3896326	5G	2140	1950	43,08398	25,629086	-106	ул. „Черни връх“, 5000
58	3896322	5G	2140	1950	43,084122	25,632834	-93	п. „Христо Караминков“ 10-16, 5000 Велико Търново Център
59	4113925	5G	2140	1950	43,084201	25,633147	-98	ул. „Поп Матей Преображенски“ 17, 5000 ж.к. Варуша-север
60	3970564	5G	2140	1950	43,084256	25,634309	-85	„Александър Пенчев“ 9А, 5000
61	3896326	5G	2140	1950	43,084296	25,633754	-85	п. „Христо Караминков“ 18-30, 5000
62	4113925	5G	2140	1950	43,084391	25,634352	-77	ул. „Поп Матей Преображенски“ 17, 5000 ж.к. Варуша-север
63	4113924	5G	2140	1950	43,084502	25,634438	-84	ул. „Опълченска“ 56, 5000 ж.к. Варуша-север
64	3896324	5G	2140	1950	43,08462	25,634197	-100	ул. „Резервоарска“ 2, 5000 ж.к. Варуша-север
65	4113927	5G	2140	1950	43,084708	25,634589	-89	ул. „Поп Матей Преображенски“ 17, 5000 ж.к. Варуша-север

По време на изследването бяха събрани данни за 65 мобилни клетки в града на мобилен оператор А1(Фигура 2). Беше отчетен точния идентификатор на всяка клетка. Отделно е събрана информация за точните честоти на *uplink* и *downlink*. За всички клетки е показана информация кое поколение от мрежата могат да обслужват. Чрез географска ширина и дължина е показано точното им местоположение. И накрая е записан адреса на който са поставени в града.

Данните от изследването са сортирани в категории според поколението на мрежата, честоти и местоположение.



Фигура 2. 4G и 5G мобилни клетки на оператор А1 в град Велико Търново

3.2. 4G и 5G мобилни клетки в зона от един квадратен километър на оператор А1

Беше избрана зона от един квадратен километър (Фигура 3), която е в рамките на града. В зоната попадат мобилни клетки с CID: 3965443, 4131842, 3806722, 13642392, 3978391, 3968005, 3968002, 3978392, 3873282, 2762245, 3806725, 3873433, 46858, 46807, 3978246, 3868313, 13642391, 3968001, 13642244, 3868163, 3873284 и 2626563 (Общо 22 на брой).



Фигура 3. Мобилни клетки на оператор А1 в зона от един квадратен километър

4. Анализи

По време на измерванията бяха в град Велико Търново в мрежата на А1 бяха наблюдавани мобилни клетки от три поколения (3G, 4G и 5G) с различни честоти на работа.

Според направените измервания и Таблица 2, 48 резултата са от 5-то поколение, 15 резултата от 4-то поколение и 2 от други поколения на мобилната мрежа.

В процентно съотношение 74% са от 5-то поколение, 23% от 4-то поколение и 3% са от по-ниско поколение и честоти на работа.

В таблица 2 са поместени и честоти на работа на съответните поколения, от изследването 4% от клетките 5-то поколение са с честота на *downlink* 2,64 GHz, на *uplink* 2,52 GHz и 96% с честота на *downlink* 2,140GHz, на *uplink* 1,950GHz. От 4-то поколение 100% са с честота на *downlink* 1,8125 GHz и на *uplink* 1,7175GHz, а останалите други с по-ниски честоти.

Според същата таблица и данните при изследването най-голям процент от тях са от 5-то поколение с честота на работа от 2,140GHz.

От измерените при изследването на един квадратен километър мобилни клетки става ясно, че те са 22 на брой. От тях 59% от 5-то, 32% от 4-то поколение и други са 9%.

5. Заключение

Бяха направено измерване на мобилни клетки на оператор А1, което даде над 65 резултата за различни клетки, данните от които са събрани. В град Велико Търново е установено, че най-голям процент от клетките попадат в категория като 5-то поколение, докато съответните стойности за 4^{то} поколение са по-малко. Установено е, че в зона от един квадратен

километър в градска среда от 5-то поколение са 13, от 4-то са 7 и от друго поколение с по-ниска работна честота са 2 мобилни клетки. Констатациите показват, че знанията за поколението и работните честоти на мобилните клетки са важни за точни оценки на излагането на радиочестотното електромагнитно поле от оборудване за мобилна комуникация.

Разширяване на измерванията на таблица 2 за вида на мобилните клетки за други населени места и извън тях е едно възможно продължаване на тия изследвания, а също така и по Фигура 2 за различни, случайни зони. Друга такава насока е изследване и анализиране на по-високи и Wi-Fi честоти на ЕМП за 5G технология.

6. Литература

1. "Positive 5G Outlook Post COVID-19: What Does It Mean for Avid Gamers?". Forest Interactive. Retrieved November 13, 2020.
2. "Market share of mobile telecommunication technologies worldwide from 2016 to 2025, by generation". Statista. February 2022.
3. <https://techinformed.com/5g-in-2022-the-key-stats/>
4. <https://cradlepoint.com/resources/blog/what-are-the-types-of-5g/>
5. <https://parizene.github.io/netmonitor/?fbclid=IwAR2XXUp7kDzqi-PIzXPX8G7k75WAFSeVZmlj0a-Rib8Oj6Vh0mvJYYND2HU>
6. https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_mobile_phone_generations

Адрес за кореспонденция:

*Йордан Щерев Иванов, доц. д-р, НВУ "В. Левски" – В. Търново, 0887 947 708,
jshtere@abv.bg*

*Калоян Славчев Колев, НВУ "В. Левски" – В. Търново, 0888 753 053,
kolevkalogn35@gmail.com*

DOI: 10.34660/INF.2023.25.68.011

ВЪЗДЕЙСТВИЕ НА РАДИАЦИЯТА ВЪРХУ МАТЕРИАЛИТЕ НА КОСМИЧЕСКИЯ КОРАБ

Аделина Митева

EFFECT OF RADIATION ON SPACECRAFT MATERIALS

Adelina Miteva

***Abstract:** The paper provides information on the impact of cosmic radiation on materials, considers the effects that occur in materials and elements of spacecraft equipment as a result of radiation exposure, formulates the most important tasks of modern and future research in the areas - radiation safety and space materials science.*

***Key words:** radiation, spacecraft materials, space vehicles, outer space, cosmic/space radiation, properties of materials, space environment, materials science*

Introduction

The paper provides information on the characteristics of various components of cosmic radiation and the mechanisms of the impact of cosmic radiation on materials, considers the effects that occur in materials and elements of spacecraft equipment as a result of radiation exposure, describes experimental and computational-theoretical methods for studying the impact of cosmic radiation on materials, formulates the most important tasks of modern and future research in the area of radiation and safety.

Materials used in space technology

Various materials are used in space technology [1, 2, 3]. Design, creation, launch and operation of space vehicles is impossible and unthinkable without the knowledge and wide use of the properties of materials and the results of space materials science. The development of space technology requires new materials that must withstand the harsh working conditions in space for a long time (loads during space flight, vibration loads, large temperature differences, pressures, vacuum, radiation, meteorites, comets, asteroids, etc.), as well as being resistant to damage, light, durable, cost-effective, having a high strength-to-weight ratio and high corrosion resistance.

The further exploitation of space and the development of space technologies (construction of space stations on the Moon and expeditions to Mars) are of high priority today. The implementation of such huge projects requires new materials and technologies to more efficiently convert chemical and solar energy, to sustain the lives of astronauts, and to protect equipment and people in space systems.

The main requirements for materials for launch vehicles and space vehicles are:

- high mechanical properties;
- high specific mechanical properties;
- heat-shielding and heat-insulating properties;
- wear resistance, low coefficient of friction;
- heat resistance;
- difficult to melt;
- strength at low temperatures;
- thermal stability;
- radiation resistance;
- radiation-protective properties;
- magnetic and electrical properties;
- low ablation;
- preservation of optical properties.

According to their purpose, all materials for space vehicles are divided into two groups: structural and functional¹.

Structural materials are intended for the manufacture of elements that perceive mechanical loads. Such elements provide the necessary strength of the spacecraft/ship and retain its configuration under operating conditions and serve to attach other elements and assemblies to them, as a result of which they are often called load-bearing or load-bearing structural elements. Metals, alloys and various composite materials are most often used as structural materials.

With the help of functional materials with certain physical and chemical properties, products are given the necessary performance characteristics and various technical and technological problems are solved. The range of functional materials for KA is very wide. These include electrical materials, materials for microelectronics and sensor technology, optical materials, compounds and sealants, paints and varnishes, special coatings applied to the surface of building materials, etc. A variety of functional materials are the so-called "smart" materials that can change their properties in accordance with changing operating conditions. Such materials are extremely important in the development of advanced automatic and manned space vehicles. In some cases, the same materials can be used both structurally and functionally.

Nanomaterials, due to their unique properties and diversity, are and will certainly find more and more applications in all areas related to space. In

particular, composite materials (composites) based on nanostructures are extremely promising for use in space technologies. By varying the combination of matrix and filler/enhancer, nanocomposites can acquire different properties, which makes them suitable for use both as structural and functional materials[4].

Polymer nanocomposites are among the promising materials for use in space technology. The possibility of creating light polymer nanocomposites with high strength and heat resistance, as well as the necessary electrical, optical, and other characteristics, makes them suitable for use as both structural and functional materials on spacecraft.

Currently, the most promising metal alloys for potential applications in all areas, including space, are high-entropy alloys (HEA). They have excellent mechanical, thermal and oxidation properties, superior to those of pure metals and conventional alloys. HEA have exceptional strength, comparable to some metallic glasses, as well as structural ceramics, due to the simple solid solutions they form. In addition to high strength, all HEAs are characterized by high hardness in the cast and annealed state [5].

At present, functionally graded materials (FGMs) are of great fundamental and experimental interest. This is mainly due to their importance as actual and potential applications as materials and devices. The main field of application of FGM is materials and devices operating under extreme conditions (large temperature differences, mechanical loads, etc.), for example, in the aerospace field. FGMs have a very high thermal gradient tolerance, making them suitable for spacecraft thermal protection, for use in spacecraft airframe structures and materials, rocket engine components, and are promising in the broader areas of the aerospace industry [6].

On average, in the manufacture of rockets and spacecraft are used about:

- 100 grades of steels and Fe-based alloys;
- 50 grades of non-ferrous metal alloys;
- 300 brands of plastics and polymer composite materials.

The main metallic materials used in the aerospace field are:

- Steels - stainless, heat-resistant, structural;
- Non-ferrous alloys - aluminum, titanium, copper, zirconium, niobium,

Mg;

- Pseudo-alloys - tungsten-copper, tungsten-silver, beryllium-aluminum, beryllium-titanium, copper-graphite.

Space radiation

Space vehicles are exposed to a huge complex of cosmic factors: high-energy electron and ion flows, plasma, solar electromagnetic radiation, meteor particles, etc. As a result of such an impact, various physical and chemical processes occur in the materials and elements of spacecraft equipment, which leads to a deterioration in their performance. Depending on the nature of impact-initiated processes in the space environment, current changes in the properties of

materials and equipment elements can be reversible or irreversible, creating various hazards for the onboard systems of the spacecraft.

According to available expert estimates, more than half of the failures in the operation of spacecraft equipment are associated with the adverse effects of space factors. In this case, the occurrence of damage is mainly associated with some radiation effects caused by the action of electrons and ions on the spacecraft materials, the energies of which lie in a very wide range: from 10^3 to 10^{20} eV. Currents of charged particles with such energies that exist in space are usually called ions of cosmic ionizing radiation or cosmic/space radiation.

For the analysis of radiation effects on space vehicles, three groups of methods are used:

- ground laboratory experiments and testing of samples of materials, elements and equipment units;
- theoretical research and computer modeling;
- natural (flight) experiments in space on board the space vehicles.

These methods are closely related and are often used together.

Exposure to space radiation can lead to both:

- a gradual deterioration of the properties and characteristics of the material on-board systems and, as a result, to failures in the operation of the space vehicles after a certain period of operation;
- and to the occurrence of sudden failures in the operation of on-board equipment, directly accompanying the impact.

Examples: for the first case, a gradual decrease in the efficiency of solar batteries of the spacecraft as a result of the accumulation of the absorbed dose of cosmic radiation, and to illustrate the second case - damage in microcircuits with a high degree of integration under the action of single protons or high energy heavy ions.

In the space around the Earth, where the majority of space vehicles function, the main components of the space ionizing radiation (differing in origin, localization, energy characteristics and composition) are particles from the Earth's radiation belts (ERB), solar cosmic rays (SCR) and galactic cosmic rays (GCR). Based on the parameters of the orbits around the Earth, the operating conditions of the space vehicles are analyzed, in particular, possible radiation effects on materials and equipment elements are evaluated.

The main efforts being made in relation to radiation are as follows:

- Improvement of instruments for measuring radiation;
- Creation of new materials resistant to radiation.

Radiation damage to spacecraft material caused by the space radiation environment mainly includes ionization damage and displacement damage.

Physical and chemical processes occurring in materials under space radiation lead to changes in their structure and properties. To the greatest extent, this effect affects the mechanical properties and corrosion resistance.

Metals and alloys are more resistant to radiation than many other solids, which is why they are widely used in space technology.

Different metals and alloys react differently to radiation exposure. Their behavior depends on their properties and the conditions of their irradiation. The impact of radiation on metals and alloys can be divided into two main types. The former include effects that are a direct consequence of the formation of defects in a metal or alloy under the action of a radiation field, while the latter include effects arising from the subsequent movement of these defects and their interaction with a pre-existing lattice heterogeneity.

It is assumed that defects formed under the action of radiation cannot lead to significant changes in the metal lattice, unless they acquire sufficient mobility, for example, under the action of subsequent heating. Namely, defects can accumulate, but their effect on properties will not be felt until the temperature rises. In this case, the sample can be located both inside and outside the radiation field.

The effects of the second type are especially important in alloys. In pure metals, effects of the second type usually manifest themselves in the form of annealing or direct damage occurring under the action of radiation.

Factors that determine the magnitude of radiative forcing

When determining the factors that determine the magnitude of radiation exposure to metals and alloys, it is convenient to use variables that reflect the conditions of irradiation, the state and properties of the metal or alloy under consideration before irradiation.

The temperature is one of the main factors that determine the properties of metals during irradiation. Other important factors are: melting point, crystal structure, previous thermal and mechanical processing, irradiation environment, neutron flux and properties under investigation.

The temperature at which the irradiation occurs is of particular importance since, as noted above, it depends on whether the defects formed by the irradiation acquire sufficient mobility to cause secondary effects.

The melting point of the irradiated metal is closely related to the temperature at which the irradiation occurs, since the melting point is a rough measure of the amount of heat/heating required for the defects to become appreciably mobile. As a first approximation, it can be assumed that reactions in many solids will proceed at a noticeable rate at a temperature slightly above $\frac{1}{2}$ of the value of the absolute melting point. Thus, irradiation of pure Al at temperatures well below room temperature results in a slight change in mechanical strength. However, even in the case of room temperature irradiation of Cu, Fe, Mo, and other metals and alloys with a high melting point, a sharp change in their mechanical properties is observed.

Radiation effects - are any changes in structure, properties, state of matter or material caused by radiation. The difficulty in analyzing radiation effects is

also aggravated by the compositional and structural complexity of many materials used in spacecraft construction: composites, polymers, multi-layered thin-film structures, etc.

The study of space and the need for new materials that can withstand the conditions of outer space without losing their functionality have led to the creation of a new type of aluminium composite in our Space Materials Science section at the Institute of Space Research and Technology - BAS. This is an aluminum-based material, namely, high-strength aluminium alloy B95 (7075) with a quantitative addition of ultrafine diamond powder /UDDP/ and tungsten /W/ [7]. High-strength aluminium alloy B95 (7075), along with aluminium alloys of the 7xxx and 2xxx series, are the most widely used and common alloys used for the production of high-strength structures operating in extreme conditions [8, 9].

Semiconductor nanomaterials and quantum well heterostructures are widely used in the creation of various electro-optical devices for terrestrial and space applications. Changes in the electro-optical properties of these materials are induced under the action of an external constant electric field, the so-called quantum-scale Stark effect (QSE). QCSE has found practical applications in ultrafast optoelectronics, electroabsorption modulators and telecommunications, as well as in devices such as solar cells, tunable semiconductor lasers, etc. Such structures, as AlGaAs/GaAs in the presence of electric field, are also investigated in our Space Materials Science section at the Institute of Space Research and Technology – BAS [10].

Conclusion

The study of space has always been and always will be closely related to materials. It is enough to recall the first artificial satellite of the Earth, made of aluminium alloy.

The planned landing of man on Mars will take place as an international project, but not before inventing a way and materials to protect people and equipment from space radiation.

There are basically two problems with the exploration and exploitation of space:

1. High cost of space exploration and exploitation;
2. The danger of space exploration, associated mainly with radiation.

As for the lack of necessary technologies and materials, necessary for space exploration without radiation risks, scientists from almost all countries, including ours, are working on this.

References

1. Л. С. Новиков, Радиационные воздействия на материалы космических аппаратов, Москва, Университетская книга, 2010, ISBN 978-5-91304-190-6.

2. А. М. Пашаев, А. Х. Джанахмедов, Т. Г. Джаббаров, *Авиационное материаловедение*, Баку: Апострофф. 2016, ISBN 978-9952-404-12-8.

3. М. Димитрова, Ад. Митева, *Материалознание и космос*, Proceedings SES 2022, Sixteenth international scientific conference, December 2022, Sofia; P-ISSN 2603 – 3313; E-ISSN 2603 – 3321; 179-184, 2022.

4. Л. С. Новиков, Е. Н. Воронина, *Перспективы применения наноматериалов в космической технике*, Москва, Университетская книга, 2008.

5. M. Dada, P. Popoola, N. Mathe, *Recent advances of high entropy alloys for aerospace applications: a review*, World journal of engineering, 2021.

6. А. Митева, А. Bouzekova-Penkova, *Some aerospace applications of functionally graded materials*, Aerospace Research in Bulgaria, 33, 195-209, 2021; <https://doi.org/10.3897/arb.v33.e14>

7. А. Bouzekova-Penkova, Y. Mirchev, *Destructive and nondestructive testing of the mechanical properties of aluminium alloy enhanced by nanodiamond and tungsten exposed in the outer space*, Comptes Rendus de L'Academie Bulgare des Sciences, 73(4), pp. 547–552, 2020.

8. А. Bouzekova-Penkova, А. Митева, *Some aerospace applications of 7075 (B95) aluminium alloy*, Aerospace Research in Bulgaria, 34, pp. 165-179, 2022; print - ISSN 1313–0927; online - ISSN 2367–9522; <https://doi.org/10.3897/arb.v34.e15>

9. А. Бузекова-Пенкова, *Аерокосмически приложения на алуминиевите сплави*, Сборник доклади от годишна университетска научна конференция, 30 юни - 1 юли 2022 г., В. Търново, Издателски комплекс на НВУ „Васил Левски”, 1207 – 1217, 2022; ISSN 2367-7481

10. А. М. Митева, *Digital versus analog graded-gap quantum wells in the presence of applied electric field*, International journal for science, technics and innovations for the industry “Machines, Technologies, Materials”, ISSN PRINT 1313-0226, ISSN WEB 1314-507X; Publisher: Scientific technical union of mechanical engineering “Industry 4.0”; 11(5), 236-239, 2017; <http://stumejournals.com/journals/mtm/2017/5/236/pdf>

Address for correspondence

*Adelina Miteva Miteva, Dr., Assoc. Prof.,
Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences,
Division: Space Materials Science,
Acad. Georgy Bonchev st., bl. 1, 1113 Sofia, Republic of Bulgaria,
Tel: +359-889089800; e-mail: ad.miteva@gmail.com*

DOI: 10.34660/INF.2023.90.50.012

ИЗПОЛЗВАНЕ НА РАДИАЦИЯ В ХРАНИТЕЛНО- ВКУСОВАТА ПРОМИШЛЕНОСТ И СЕЛСКОТО СТОПАНСТВО

Аделина Митева

THE USE OF RADIATION IN THE FOOD INDUSTRY AND AGRICULTURE

Adelina Miteva

***Abstract:** The paper provides information on the impact of cosmic radiation on materials, considers the effects that occur in materials and elements of spacecraft equipment as a result of radiation exposure, formulates the most important tasks of modern and future research in the areas - radiation safety and space materials science.*

***Key words:** radiation, food industry, agriculture, space food, cosmic/space radiation, space vehicles, outer space, space environment, materials science*

Introduction

The importance of the application of radiation/nuclear technologies in agriculture and food industry is that we are facing serious challenges related to providing food security/safety, reduction of cultivated areas, human-caused climate change. One of the world's problems is that global food losses reach 30% on the way from producer to consumer. Without radiation treatment, all food production worldwide will be damaged at all stages of production and storage. Several billion tons per year - fish, meat, cereals, fruit and vegetables - will be lost annually and irretrievably during storage and transport.

Approximately 3 million people die each year from food and water-borne gastrointestinal diseases.

95% of foodborne diseases have been identified. According to a study by the Health Management Agency (AHCA), about 25% of all poultry in grocery stores may contain antibiotic-resistant staphylococci (infected poultry meat!).

The introduction of environmental technologies with changes in physical factors, in particular ionizing radiation and non-ionizing radiation, is one of the most promising areas.

The United Nations (UN) Food and Agriculture Organization (FAO) estimates that about 690 million people (about one in ten) were suffering from

chronic undernourishment in 2019. Radioisotopes and radiation used in food and agriculture are helping to reduce these figures [1].

What is food irradiation? The term "food irradiation" can be applied to any process in which food is exposed to either electromagnetic radiation or high energy particles.

Electromagnetic energy can be generated by radioactive isotopes, as in the case of gamma irradiation, or by bombarding thin metal films with high-energy electron beams to produce radiation, as in the case of x-ray irradiation. Alternatively, a high-energy electron beam ("electron beam") can be directed at the food itself. In all these cases, the radiation is absorbed by the food and, in particular, by the microbial organisms in the food. This absorption breaks down the complex organic molecules of the microbes, either preventing the microbes from multiplying or killing them outright. The effectiveness of the treatment depends on the type of radiation used, the intensity of the radiation, and the microbe in question. Regardless of the form, food irradiation mainly depends on how much energy is absorbed by the target food. It is useful to measure how much radiation dose will be required, regardless of the amount of food to be irradiated. For this reason, radiation doses are measured in kilogray (kGy). A dosage of one kGy indicates that the target sample is receiving 1,000 J (metric units of energy, abbreviated as J) per kilogram of sample weight.

Food safety is widely recognized as a growing public health problem worldwide. In recent history, there have been too many examples of product recalls caused by the presence or suspected presence of foodborne pathogens such as *E. coli*, *Listeria* and *Salmonella*. Even unsophisticated consumers have become more aware of the potential dangers of foodborne disease following media coverage of foodborne pathogens, especially the European mad cow disease outbreak.

Radiation is by no means a "new" technology. In the UK in 1905, J. Apleby and A. Banks registered the first patent for radiation treatment of food products [2]. In 2019, accelerated electron processing was used in 69 countries around the world. More than 200 types of food products are processed; there are more than a hundred processing centers.

Radiation for the treatment of food is achieved through the application of gamma rays (with Co-60 or Cesium-137 radioisotope), electron beams (high energy of up to 10 MeV), or X-rays (high energy of up to 5 MeV) [3]. Radiation principles explain how the gamma rays, e-beams and X-rays interact with matter. In today's society, irradiation is commonly used to sterilize medical equipment, including most disposable items used daily in hospitals. Food irradiation in itself is not a new development. The U.S. Food and Drug Administration has approved food irradiation for limited purposes since 1963, and NASA has used irradiated food on its space missions for decades as a precaution against foodborne pathogens. But it has only been in the past 20 years that irradiation has been

approved for uses that could have a significant impact on the presence of foodborne pathogens [4].

The use of radiation in food and agriculture [5]

- 1. Radiation application to food (irradiation) - Food safety technology designed to eliminate disease-causing microbes from food. Treating food with ionizing radiation can kill bacteria and parasites that would otherwise cause foodborne illness.

- 2. Irradiation is most useful in four areas:

- Preservation;

- Sterilization;

- Control germination, ripening and insect damage;

- Control food borne diseases.

-3. Irradiated food (see Fig. 1) cannot be determined by smell, sight or taste. Irradiated foods are labeled with a logo (see Fig. 2) or a note that says "Treated with/from radiation".



Figure 1. Product labeling – irradiation kills harmful bacteria and makes your food safer.

- 4. The use of radiation in agriculture: Selection of mutational plants; New crop varieties can be developed using gamma radiation combined with tissue culture techniques; Sterile insect technique - this nuclear method is used to control the reproduction of pests that destroy fruit and vegetable crops.

- 5. Radioisotopes as indicators: Fertilizers with the addition of radioisotopes allow you to determine the amount of fertilizer absorbed by the plant. This led to improved fertilizer preparation.

- 6. The use of radiation in animals: The use of radioisotopes and radiation; the use of radioisotopes makes a significant contribution to the process necessary to increase the productivity of animals; they also use markers to know the elements that animals need for better offspring.

- 7. Radiation vaccines: These vaccines are widely used for the treatment of parasitic animals and for immunization against intestinal helminthes.

Developing food for a space mission is a difficult process. These foods must be extremely durable, high in energy density, incredibly nutritious, and

portable. In addition, different types of food for different types of consumers should be considered. Although modern technology has increased the shelf life of some foods to 3-5 years, this still does not meet some strict requirements. The creation of new technologies or the combined use of multiple existing technologies is necessary to achieve a longer shelf life. This combination not only ensures an extremely long shelf life, but also the specific functional characteristics of specialized foods. To support a long-duration space mission, food scientists and researchers focus primarily on the shelf life of food products.

The future of food production will be shaped by technological advances such as 3D food printing and space gardening. Additionally, a number of experiments are being carried out by space agencies to enable future space travel. Research on environmentally friendly packaging materials is being conducted to reduce the weight of space flights. Biofilms that prevent microbial growth and increase the shelf life of the product is currently at least five years are being developed by researchers. In addition, the development of food products for space will be achieved through the cooperation of several space agencies [6, 7].



Figure 2. The logo is the symbol “Radura”. This is the international symbol indicating a food product has been irradiated. The logo is usually green and resembles a plant in circle. The top half of the circle is dashed. Graphical details and colors vary between countries.

Now in many space flights the method of cold pasteurization of food is used.

Irradiated products do not become radioactive.

A radioactively contaminated product is a product that, for some reason, contains radionuclides and it (or its components) has radioactivity.

Radiation-treated product - cannot acquire radioactivity, because in the process of radiation processing, there is no direct contact of the radioactive substance with the product, and the dose rate of gamma radiation or electron radiation allowed during the processing of food products by international standards completely excludes the possibility of the appearance of induced radioactivity.

Here is the expert opinion of Academician G. I. Budker (1918-1977) - inventor of electron cooling, magnetic mirror, open plasma trap, and colliding beam accelerator - on this matter: "The action of certain doses of radiation on bacteria and insects can be used for disinfestation and disinfection of grain, sterilization of medicines, food preservation, and disinfection of wastewater. As for the irradiated materials themselves, including food, they do not contain any induced radioactivity; they are as safe to use as holding an X-ray of your lungs or stomach in your hands."

Key Benefits of Irradiation Food Processing Technology: The most studied conservation method to date; The accelerated electrons penetrate the packaging, which protects the products from subsequent bacterial contamination; Processing does not change the taste and smell; The temperature increase during processing does not exceed a few degrees; Technology does not restore the quality of spoiled food and cannot replace quality food production methods.

In the United States and other countries, systematic explanatory advertising of the safety of food products after their radiation processing is carried out.

Legislative acts, international agreements are indicated, the quality of processed and unprocessed products is compared.

All this contributes to the promotion of products to the markets.

More than 600 irradiation centers have been created in the world; the leaders are the USA and China. The food industry and agriculture is the third segment in terms of the volume of the world market of radiation technologies. More than 80 centers irradiate food in China.

Benefits of using radiation in in food and agriculture [8]

1. Pest control:

- Eliminate and reduce the use of chemicals;
- Reducing processing time to 1 day (fumigation and degassing - 7 days, full cycle - 45 days);
- High processing efficiency - 100% death of grain pests (fumigation is not kill bugs and ticks);
- Reducing the risk of poisoning and death of workers (deaths are recorded during fumigation).

2. Phytosanitary treatment.

3. Maturation delay:

- Radiation processing of fruits intended for export is an important element of the market of the Republics in Southeast Asia and South America.

4. Delayed germination - for example onions, potatoes...

5. Grain dressing:

- seed treatment of cereal crops using an accelerator low-energy electrons and substitution of chemical etching;

- the Fraunhofer Institute (Dresden, Germany) has created stationary and mobile plants for pre-sowing treatment based on the use of an electron accelerator with energies from 105 to 145 keV.

6. Technological methods:

- strawberries - increased juice yield;
- beets - Increasing sugar yield.

7. Radiation mutagenesis:

- selection of new varieties.

8. Stimulation of growth and development.

9. Antimicrobial treatment:

- shelf life of fish and seafood increases after irradiation.

About technology, how it works:

- Processing already packaged for the consumer food by accelerated electrons;

- Irreversible damage to DNA and RNA molecules in microorganisms present in the product;

- Microbiological safety of products, increase in shelf life and preservation of its quality;

- Inactivation (inability to divide) and death microorganisms.

Conclusion

The problem of loss of agricultural and food products is a global problem. The use of radiation is one of the most promising and rapidly developing technologies for solving this problem, as well as in ensuring food security.

The planned landing of man on Mars will take place as an international project, but not before inventing a way and materials to protect people and equipment from space radiation, and not before solving the problem of feeding the cosmonauts.

Food packaged for future deep space exploration missions will be exposed to galactic cosmic rays (GCR) and solar radiation in deep space at higher levels and in different spectra than in low Earth orbit (LEO). This is where using radiation will certainly help in making space food.

References

1. <https://www.world-nuclear.org/information-library/non-power-nuclear-applications/radioisotopes-research/radioisotopes-in-food-agriculture.aspx>.
2. A. Appleby, J. Banks. 1905 Brit. pat, NO. 1609, Jan. 26 1905.
3. J. F. Diehl, —Food irradiation - past, present and future, Radiat. phys. chem., vol. 63, pp. 211–215, 2002.
4. J. E. Prejean, Food irradiation: why aren't we using it?, <http://nrs.harvard.edu/urn-3:HUL.InstRepos:8846796>; 2001.

5. <https://prezi.com/cgwfdnfc0e01/the-use-of-radiation-in-food-and-agriculture/>.
6. G. L. Douglas, M. R. Cooper, H. Wu, R. Gaza, P. Guida, M. Young, Impact of galactic cosmic ray simulation on nutritional content of foods. *Life Sciences in Space Research*, 28, pp.22-25, 2021.
7. R. Indiarto, M. A. H. Qonit, A review of irradiation technologies on food and agricultural products. *Int. J. Sci. Technol. Res*, 9(1), pp.4411-4414, 2020.
8. P. Issa, B. Mehdi, T. Abolfazl, J. Mehdi, The use of gamma irradiation in agriculture. *African Journal of Microbiology Research*, 5(32), pp.5806-5811, 2011.

Address for correspondence

*Adelina Miteva Miteva, Dr., Assoc. Prof.,
Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences,
Division: Space Materials Science,
Acad. Georgy Bonchev st., bl. 1, 1113 Sofia, Republic of Bulgaria,
Tel: +359-889089800; e-mail: ad.miteva@gmail.com*

Адрес за кореспонденция:

*Аделина Митева Митева, д-р, доцент,
Институт за космически изследвания и технологии,
Българска Академия на Науките,
София 1113, ул. “Акад. Георги Бончев”, блок 1,
тел. 02 979 2479, ad.miteva@gmail.com*

DOI: 10.34660/INF.2023.60.33.013

ДОПУСТИМИ ДОЗИ НА ЙОНИЗИРАЩИТЕ ЛЪЧЕНИЯ В БЪЛГАРИЯ

Сезгин Хасан, Мирем Ниязи-Юсуф

ALLOWABLE DOSES OF IONIZING RADIATION IN BULGARIA

Sezgin Hasan, Mirem Niyazi-Yusuf

Abstract: *Ionizing radiation, passing through the substance, interacts with it, transferring its energy to it. The energy absorbed by the substance causes physical, chemical and biological processes that lead to the occurrence of a radiation-induced effect. Ionizing radiation dose is the amount of energy absorbed by bodies and objects that have been exposed to ionizing radiation.*

Keywords: *Radiation, ionization, allowable doses*

Йонизация се нарича процесът на образуване на йони от неутрални атоми или молекули, като това е ендотермичен процес.

Явление, при което под действие на външна причина – йонизатор (рентгенови лъчи, висока температура, електрическа искра, електрическа дъга и т.н.) атомите и молекулите на веществото, предимно в газообразно състояние, от електронеутрални се превръщат в йони.

Положително зареден йон се образува, когато електронът в атома или молекулата получава достатъчна енергия за преодоляване на потенциалната бариера, равна на йонизационния потенциал. Обратно, отрицателно зареден йон се образува чрез захват на „излишен“ електрон от атома, при това се освобождава енергия.

Йонизацията може да протича по различни начини и в зависимост от това могат да се образуват както положителни, така и отрицателни йони. Всеки електрон се държи близо до собствениците си (атоми) с помощта на електрическа бариера, която ги предпазва от разсейване в различни посоки. Поради него, всъщност, самата молекула съществува.

Въпреки това, един електрон може да получи енергия с достатъчна величина, за да прекъсне електрическата бариера и да се освободи от

пазенето на атом или молекула. В този случай йонът става положителен. Обратно, отрицателен йон се образува чрез улавяне на допълнителен електрон. Споменатата сила не е нищо друго освен йонизационната енергия.

Има два основни типа на този процес:

- последователен (класически)
- непоследователен (квант)

Дозата на йонизиращите лъчения е количеството енергия, погълнато от тела и предмети, които са били изложени на йонизиращо лъчение. Разделът от физиката, занимаващ се с определянето (измерването) на дозата на йонизиращите лъчения, се нарича дозиметрия, а измервателните уреди – дозиметри.

Един от начините за оценка на дозата на йонизиращите лъчения е експозицията - мярка за йонизиращата способност на лъчение във въздуха.

Експозицията се определя като абсолютната стойност (dQ) на общия електричен заряд на йоните от един и същ знак, които се получават във въздух, когато всичките електрони и позитрони, освободени от фотони в обемен елемент въздух с маса (dm) са напълно спрени във въздуха:

$$(1) \quad X = \frac{dQ}{dm}$$

Системната мярка за експозиция е $C.kg^{-1}$ (кулон на килограм), а извънсистемната – рентген (R). Връзката между двете мерни единици е:

$$C.kg^{-1} = 3876 R$$
$$1R \approx 2,58.10^{-4} C.kg^{-1}$$

Мощност на експозицията е нарастването на експозицията (dX) за интервал от време(dt):

$$(2) \quad \bar{X} = \frac{dX}{dt}$$

Системната мярка за мощност на експозицията е $A.kg^{-1}$ (ампер на килограм), а извънсистемната – R/h (рентгенчас).

През 1950 г. Международният конгрес по радиология определя пределно допустима доза от $0,05 R/ден$ за гама-лъчение до $3 MeV$.

Йонизиращите лъчения, преминавайки през веществото, взаимодействат с него като му предават енергията си. Погълнатата от веществото енергия предизвиква физически, химически и биологически процеси, които водят до възникването на радиационно индуциран ефект [10].

Дозиметричните величини са мярката за очакваните последствия от облъчването в живия организъм.

1. Активност – определя се от броя на ядрата на радиоактивния елемент, които се разпадат за единица време. Активността е количествена характеристика на процеса на спонтанно разпадане на радиоактивните изотопи. Резултатът от този разпад е излъчването на различни йонизиращи лъчения в околната среда.

$$(3) \quad A = \frac{DN}{DT}$$

DN – брой разпаднали се ядра

DT – интервал от време

Системната мярка за активността е Бекерел /Bq/.

1 Bq = разпада на 1 ядро за 1 s

Активността е правопрпорционална на количеството нестабилни атоми и обратно пропорционална на периода на полуразпад. Периода на полуразпад /времето, за което началната активност на изотопа намалява на половина/ е също важен параметър за оценка на радиационната обстановка.

2. Погълната доза – енергията, която йонизиращото лъчение е предало при преминаването си на единица маса от облъченото вещество.

$$(4) \quad D = \frac{d\omega}{dm}$$

d ω – енергия, предадена на средата

dm – единица маса от средата

Системната единица за измерване на погълнатата доза йонизиращо лъчение е грей (Gy). Тя има размерност:

$$1Gy = 1 \frac{J}{kg} = 1 m^2 \cdot s^{-2}$$

Връзката на системната единица грей (Gy), с извънсистемните единици рад (rad) и ерг (erg), е:

$$1Gy = 100 \text{ rad}$$

$$1 \text{ rad} = 100 \text{ erg} \cdot g^{-1} = 10^2 \cdot 10^{-7} J \cdot 10^3 \cdot kg^{-1} = 10^{-2} J \cdot kg^{-1} = 10^{-2} Gy = 0.01 Gy$$

3. Еквивалентна доза - погълнатата доза (D), осреднена за даден орган или тъкан (T), умножена със съответния радиационен тегловен фактор (W) за лъчението (R). Тя се определя по формулата:

$$(5) \quad H_{T,R} = \sum W_R \bar{D}_{T,R}$$

$\bar{D}_{T,R}$ – осреднена погълната доза от даден вид лъчение в съответния орган или тъкан

W_R – радиационен тегловен коефициент

Системната единица за измерване на еквивалентната доза йонизиращо лъчение е Сиверт (Sv). Тя има размерност:

$$1Sv = 1 \frac{J}{kg} = 1 m^2 \cdot s^{-2}$$

Физически $1 Sv = 1 Gy$. Биологичният ефект от 1 джаул лъчиста енергия, с която е облъчен 1 килограм жива тъкан е различен, за различните видове лъчение. Неутроните с енергия от 10 до 100 keV са 10 пъти по-вредни за живата тъкан от фотоните, а алфа-частиците и тежките ядра са 20 пъти по-вредни от фотоните. Така гама-лъчение от 1 Gy е с еквивалентна доза 1 Sv, докато същото алфа-лъчение има еквивалентна доза от 20 Sv.

В грей (Gy) се измерва погълнатата радиация от всякакви вещества и материали, включително и живи тъкани. В сиверти (Sv) се измерва само радиацията, погълната от живи клетки, тъкани и органи (основно човешки). Сивертът е голяма величина, облъчване с 1 сиверт предизвиква лъчева болест при човека. Затова в практиката е по-удобно да се използват производните единици милисиверт ($1 mSv = 0,001 Sv$) и микросиверт ($1 \mu Sv = 0,001 mSv = 0,000001 Sv$).

4. Ефективна доза /E/ – сума от произведенията на еквивалентните дози (H), погълнати от различните тъкани и/или органи в организма, коригирани със съответния тегловен фактор (W) за различните тъкани (T). Ефективната доза се определя по формулата:

$$(6) \quad E = \sum W_T \bar{H}_T$$

H_T – еквивалентна доза в съответния орган

W_T – тъканен тегловен коефициент

Системната единица за измерване на еквивалентната доза йонизиращо лъчение е Сиверт (Sv).

Един и същ вид лъчение (гама-лъчи, неутрони или алфа-частици) с една и съща сила оказва различно влияние на различните тъкани в организма. Щитовидната жлеза е четири пъти по-чувствителна на йонизиращи лъчения от кожата, а половите жлези са два пъти по-чувствителни от щитовидната жлеза. Така облъчване на кожата и щитовидната жлеза с еквивалентна доза от 1 Sv води до ефективна доза от 1 Sv за кожата и 4 Sv за щитовидната жлеза.

5. Колективна доза – общата ефективна доза за група от населението, която се определя като средната ефективна доза на подгрупата (i), умножена по броя на хората в нея (N_i):

$$(7) \quad S = \sum \bar{E}_i \cdot N_i$$

Мерната единица за колективна ефективна доза йонизиращо лъчение е „човекосиверт“ – man.Sv.

Мощност на дозата на йонизиращите лъчения е нейното изменение за единица време (dt).

Мощността на погълнатата доза (D) се определя като:

$$(8) \quad \bar{D} = \frac{D}{dt}$$

Измерва се в $\text{Gy} \cdot \text{s}^{-1}$

Мощността на еквивалентната доза (H) и ефективната доза (E) се определят като:

$$(9) \quad \bar{H} = \frac{H}{dt} \text{ и } \bar{E} = \frac{E}{dt'}$$

като двете величини се измерват в $\text{Sv} \cdot \text{s}^{-1}$

За удобство в практиката, мощността на дозата се измерва за 1 час (1 R/h, 1 Gy/h, 1 $\mu\text{Sv/h}$), вместо за 1 секунда.

Допустимите дози на йонизиращите лъчения в България се определят от Наредбата за основни норми за радиационна защита, приета с ПМС №229/25.09.2012 г. Тя определя допустимите дози за допълнително облъчване, в което не влизат дозите от естествения радиационен фон [10].

Естественият гама-фон на територията на България е от 0,06 до 0,40 $\mu\text{Sv/h}$.

- За населението

Границата на ефективна доза йонизиращо лъчение за всяко лице от населението в България е 1 mSv за 1 година или 0,1 $\mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$ (преизчислено за 8800 часа), като се допускат до 15 mSv/год. за очната леща и до 50 mSv/год. за кожата (тази граница се отнася за средната доза, получена от всяка повърхност с площ 1 cm^2 , независимо от площта на облъчената повърхност).

- За професионално облъчване

Границата на ефективна доза йонизиращо лъчение за професионално облъчване (за лица, които работят с източници на йонизиращи лъчения) е 20 mSv за 1 година или 10 $\mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$ (преизчислено за 1700 часа), като се допускат до 20 mSv/год. за очната леща и до 500 mSv/год. за кожата (тази

граница се отнася за средната доза, получена от всяка повърхност с площ 1 cm², независимо от площта на облъчената повърхност).

- За водата

Допустимите радиологични показатели на водата за питейно-битови цели са: радон до 100 Bq/l, тритий до 100 Bq/l, и индикативна (еквивалентна) доза до 0,1 mSv, при обща алфа-активност до 0,1 Bq/l и обща бета-активност до 1 Bq/l.[3]

- За храната

Граници за съдържание на радиоизотопи в храните, Bq/kg[4]

Радиоизотоп	Детск и храни	Мляко и млечн и храни	Друг и храни	Несъществен и храни	Течн и храни
Изотопи на стронций, специално ⁹⁰ Sr	75	125	750	7500	125
Изотопи на йод, специално ¹³¹ I	150	500	2000	20000	500
Източници на алфа-частици, изотопи на плутоний и трансплутониеви елементи, специално ²³⁹ Pu и ²⁴¹ Am	1	20	80	800	20
Други радиоизотопи с t _{1/2} над 10 дни, специално ¹³⁴ Cs и ¹³⁷ Cs (без ¹⁴ C и ⁴⁰ K)	400	1000	1250	12500	1000

- За устройство на територията

Нови сгради се изграждат на терени с радиоактивност във въздуха до 300 nGy/h и специфична активност на ²²⁶Ra в почвата до 200 Bq/kg. За селскостопански цели, строеж на складове и други сгради с ограничено пребиваване на хора се използват терени с радиоактивност във въздуха до 500 nGy/h, специфична активност на ²²⁶Ra в почвата до 600 Bq/kg и обемна активност на ²²⁶Ra във въздуха до 600 Bq/m³. [5]

- За облъчване при медицински изследвания

Национални диагностични референтни нива за рентгенография[6] и рентгеноскопия [7].

- Аварийно облъчване и защита на населението

За спасяване на човешки живот или за предотвратяване на по-голямо облъчване при радиационна авария органите на държавния здравен контрол могат да разрешат по изключение извършването на дейности от доброволци при превишаване на установените граници на облъчване. Ефективната доза

Рентгенография					Рентгеноскопия				
Орган	Проекция	Входяща въздушна крема, mGy	Произведено е крема-площ		Рентгеново изследване	Произведени е крема-площ		Допълнителни нива	
			mGy. cm ²	μGy. m ²		mGy. cm ²	μGy. m ²	Време на скопия, мин.	Брой образи
Череп	РА	2,5	—		Контрастно изследване на горния дял на стомашно-чревния тракт	18	1800	4,1	4
	Lat	2,5	—						
Бял дроб и сърце	РА	0,5	0,4	40	Иригография – контрастно изследване на дебелото черво	40	4000	4,2	5
	Lat	1,5	—						
Лумбални прешлени	AP	9	3	300	Коронарна ангиография (СА)	40	4000	3,8 – 6,5	530 – 650
	Lat	12	4	400					
Таз	AP	4	4	400	Коронарна интервенция (СА + PCI)	140	14000	8,9 – 18,1	1290 – 1610
БУМ	AP	6	4	400	Артериография на долни крайници	45	4500	1,9 – 3,0	120 – 270

за едно лице не трябва да бъде повече от 50 mSv за една отделна година и повече от 200 mSv общо за 10 години.[8]

При замърсяване с радиоактивни вещества се предприемат мерки, в зависимост от годишната ефективна доза над естествения радиационен фон, както следва:[9]

5 – 50 mSv – укриване и защита на органите на дишането (дозата се отнася за периода на укриване);

50 – 500 mSv за 1 седмица – евакуация на населението;

10 – 100 mSv за 1 месец – временно преселване;

1000 mSv за 50 години – постоянно преселване;

5 – 50 mSv ефективна доза за щитовидната жлеза – йодна профилактика за бременни, кърмачки и лица под 18 години;

50 – 500 mSv за 1 седмица – йодна профилактика за цялото население.

Използвани източници:

1. Наредба за основните норми за радиационна защита, приета с ПМС №229 / 25.09.2012 г. Обн. ДВ бр. 76 / 05.10.2012 г.

2. Наредба за радиационна защита
3. Наредба № 9 от 16 март 2001 г. за качеството на водата, предназначена за питейно-битови цели.
4. Наредба № 11 от 18 април 2002 г. за определяне на изискванията към границите на радиоактивното замърсяване на храните при радиационна авария.
5. Наредба № 1 от 15 ноември 1999 г. за норми за целите на радиационна защита и безопасност при ликвидиране на последствията от урановата промишленост в Република България
6. Дози на пациентите при рентгенография, Национален център по радиобиология и радиационна защита
7. Дози на пациентите при рентгеноскопия, Национален център по радиобиология и радиационна защита
8. Закон за здравето
9. Наредба за аварийно планиране и аварийна готовност при ядрена и радиационна авария, приета с ПМС № 313 от 22.11.2011 г. Обн. ДВ. бр.94 от 29 ноември 2011 г.
10. Уикипедия

Адрес за кореспонденция:

*Сезгин Хасан,
Шуменски университет „Епископ Константин Преславски“
Факултет по технически науки
sezgin_78@abv.bg*

*Мирем Ниязи-Юсуф,
Шуменски университет „Епископ Константин Преславски“
Факултет по технически науки
m.niyazi@shu.bg*

DOI: 10.34660/INF.2023.32.36.014

ДЪРЖАВНА ПОЛИТИКА В ОБЛАСТТА НА ОСИГУРЯВАНЕТО НА ЯДРЕНА И РАДИАЦИОННА БЕЗОПАСНОСТ НА РУСКАТА ФЕДЕРАЦИЯ

Нина Паскалева, Мирослав Кацаров

STATE POLICY IN THE FIELD OF ENSURING NUCLEAR AND RADIATION SAFETY OF THE RUSSIAN FEDERATION

Nina Paskaleva, Miroslav Katsarov

Abstract: *The main situations related to nuclear and radiation safety in the Russian Federation are tracked with an emphasis on the Federal target program "Ensuring nuclear and radiation safety for 2016-2020 and for the period up to 2035". The main activities in four main directions through which the federal program is implemented are indicated and analyzed.*

Keywords: *Russian Federation, Nuclear Safety, Radiation Safety, Federal Program*

Основа за осъществяване на държавната политика на Руската федерация (РФ) по отношение на осигуряването на ядрената и радиационната безопасност е Указът на Президента на РФ № 585 от 13.10.2018 г.¹ „За утвърждаване на Основите на държавната политика в областта на осигуряването на ядрена и радиационна безопасност на Руската федерация за периода до 2025 г. и в перспектива“. Ясно се посочва, че реализирането на тази политика се осъществява от Правителството на РФ. Определят се целите, задачите, основните насоки и инструменти за осъществяване на държавната политика в областта на осигуряването на ядрена и радиационна безопасност на РФ. Основни положения в документа са:

Държавната политика в областта на осигуряването на ядрена и радиационна безопасност на РФ е съвкупност от координирани и обединени от общ план политически, икономически, инженерни, социални, правни, информационни и други мерки в областта на използването на атомната

¹ Указ Президента Российской Федерации от 13.10.2018 г. № 585 Об утверждении Основ государственной политики в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности Российской Федерации на период до 2025 года и дальнейшую перспективу. <http://www.kremlin.ru/acts/bank/43631/page/1>

енергия за мирни и отбранителни² цели, приети от държавните органи на РФ, държавните органи на нейните съставните образувания, местните власти, държавната корпорация за атомна енергия „Росатом“³ и други организации, насочени към осигуряване на националните интереси, изпълнение на стратегическите национални приоритети, защита на живота и здравето на гражданите, собствеността, както и опазване на околната среда.

Основите на държавната политика в областта на осигуряването на ядрена и радиационна безопасност са документ за стратегическо планиране в областта на осигуряването на националната сигурност на РФ. Правната рамка на тези основи се формира от Конституцията на РФ, международните договори на РФ, федералните закони и други регулаторни правни актове на в областта на осигуряването на ядрена и радиационна безопасност. Ядрената безопасност и радиационната безопасност са от най-важните компоненти на националната сигурност на РФ.

Основни проблеми в областта на осигуряването на ядрената и радиационната безопасност са: наличие на наследени ядрени обекти, по отношение на които са необходими допълнителни мерки за завършване на техния жизнен цикъл и (или) възстановяване, включително прехвърлянето на тези обекти в ядрено и радиационно безопасно състояние и рехабилитация на радиоактивно замърсени райони на териториите, където се намират тези обекти; натрупване на отработено ядрено гориво и радиоактивни отпадъци; въздействие на радиационните фактори върху работещите в организации, извършващи дейности, които не са свързани с използването на атомна енергия, в т.ч. служители на нефтената и газовата промишленост, горивно-енергийните комплекси, минната промишленост, строителството, космическата и авиационната промишленост и медицината; недостатъчен квалифициран персонал и намаляване на кадровия потенциал; непълноти от гледна точка на правовото регулиране; потенциална възможност за възникване на радиационни аварии и катастрофи на територията на страната и извън нея; поява на технологии, които могат да се използват за извършване на неразрешени действия (вкл. терористични актове) срещу обекти, използващи ядрена енергия за мирни и отбранителни цели, наследени ядрени обекти, както и за незаконно производство на компоненти на ядрени оръжия и устройства; рискове от незаконно движение през държавната граница на РФ на радиоактивни вещества, продукти, произведени от тях, ядрени материали, радиоактивни отпадъци и тяхното незаконно движение на територията на страната; наличие на немалки територии (гори, земеделски площи), замърсени в резултат на радиационни

² Министерство обороны Российской Федерации. Стратегические силы сдерживания (ССС). <https://encyclopedia.mil.ru/encyclopedia/dictionary/details.htm?id=14378@morfDictionary>

³ Госкорпорация „Росатом“. <https://rosatom.ru/index.html>

аварии и катастрофи, върху които действат ограничения за стопански дейности и представляват риск за населението; наличие на групи от населението с повишени нива на радиоактивно облъчване поради излагането им на естествени източници на лъчение.

Основни цели на държавната политика в областта на осигуряването на ядрената и радиационната безопасност са:⁴

- осигуряване, в съответствие със законодателните и други регулаторни правни актове на РФ, безопасността на съоръжения, използващи атомна енергия за мирни и отбранителни цели, наследени ядрени съоръжения, материали с високо съдържание на естествени радионуклиди;⁵

- поддържане, в съответствие с принципите на стандартизация и оптимизация, на възможно най-ниско ниво на риск от облъчване на служители (персонал) на организации, експлоатиращи ядрени съоръжения за мирни и отбранителни цели, наследени ядрени съоръжения и организации, използващи в процеса на дейността си материали с високо съдържание на естествени радионуклиди;

- поэтапно извеждане от експлоатация и обезвреждане и обезвреждане на наследени ядрени съоръжения;⁶

- осигуряване на защита на населението и околната среда от радиационно облъчване, отговаряща на съвременните изисквания;

- запазване на приоритета за поддържане на високо ниво на ядрена и радиационна безопасност на обекти, използващи атомна енергия за мирни и отбранителни цели, обекти на ядреното наследство чрез подобряване на мерките за държавно управление и държавно регулиране на безопасността при използване на атомната енергия при отчитане на развитието на науката, технологиите и производството;

- повишаване на отговорността за осигуряване на ядрена и радиационна безопасност на федералните изпълнителни органи, държавната корпорация "Росатом" и организациите, управляващи ядрени обекти;

- предотвратяване на радиационни аварии и катастрофи или локализиране и минимизиране на евентуални последствия от тях;

- минимизиране на радиационните рискове за населението на РФ, произтичащи от радиационни аварии и катастрофи;

⁴ Указ Президента Российской Федерации от 13.10.2018 г. № 585 Об утверждении Основ государственной политики в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности Российской Федерации на период до 2025 года и дальнейшую перспективу. <http://www.kremlin.ru/acts/bank/43631/page/2>

⁵ Радионуклид – Radionuclide. <https://ewiki.bg/top/wiki/Radionuclide>

⁶ Федеральный экологический оператор Росатом. Ликвидация ядерного наследия. <https://rosfeo.ru/deyatelnost/utilizacziya-i-xranenie-blokov-reaktornyix-otsekov-apl-i-sudov-ato.html>

- намаляване на опасното въздействие на радиационните фактори върху населението, живеещо в райони с повишено ниво на естествен радиационен фон.

Основни задачи на държавната политика в областта на осигуряването на ядрената и радиационната безопасност са:

- защита, в съответствие с принципа на приемливия риск, на служители (персонал) на организации, експлоатиращи ядрени съоръжения за мирни и отбранителни цели, организации, използващи в дейността си материали с високо съдържание на естествени радионуклиди, населението и околната среда от радиационно облъчване, намаляване на риска за човешкото здраве от последици след облъчване с техногенна радиация, поддържане на възможно най-ниско ниво на индивидуалните дози на облъчване и брой на облъчените лица при използване на всеки източник на йонизиращо лъчение;

- осигуряване, в съответствие с федералните закони и други регулаторни правни актове на РФ, безопасна експлоатация на съоръжения, използващи ядрена енергия за мирни и отбранителни цели, наследени ядрени съоръжения, предотвратяване на радиационни аварии и бедствия в тези съоръжения или локализиране и минимизиране на техните последици, намаляване или предотвратяване на увеличаване на емисиите и изхвърлянията на радиоактивни вещества в околната среда; предотвратяване на неконтролирано разпространение и неразрешено използване на радиоактивни вещества, продукти от тях, ядрени материали и радиоактивни отпадъци;

- подобряване на държавното управление и държавното регулиране на безопасността в областта на използването на атомната енергия;

- подобряване на системата за подбор, професионално обучение, повишаване на квалификация, преквалификация, сертифициране и допускане до работа на служители (персонал) на организации, работещи в областта на използването на атомната енергия;

- усъвършенстване на механизмите за оценка на радиационното въздействие върху природни и природно-антропогенни обекти;

- осигуряване на извеждане от експлоатация на остарели ядрени съоръжения, преработка на отработено ядрено гориво, погребване на радиоактивни отпадъци и възстановяване на радиоактивно замърсени обекти на територията на РФ;

- осигуряване на ефективна информационна подкрепа за осигуряване на ядрена и радиационна безопасност;

- поддържане в постоянна готовност на силите и средствата за ликвидиране на последици от радиационни аварии и катастрофи;⁷

⁷ МЧС России - Министерство Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий. <https://www.mchs.gov.ru/>

- развитие на териториални и секторни системи за мониторинг на радиационната обстановка;
- осигуряване на висококачествено проектиране, изграждане и въвеждане в експлоатация на съоръжения за използване на атомната енергия за мирни и отбранителни цели;
- осигуряване на безопасност при работа с радиоактивни вещества и продукти от тях, ядрени материали, радиоактивни отпадъци, отработено ядрено гориво, вкл. по време на тяхното транспортиране (транспортиране);
- осигуряване на физическа защита на обекти, използващи атомна енергия за мирни и отбранителни цели;
- предотвратяване и пресичане на терористични актове и неразрешени действия срещу съоръжения, използващи ядрена енергия за мирни и отбранителни цели, обекти на ядреното наследство, както и терористични актове с използване на ядрени материали, радиоактивни вещества, материали с високо съдържание на естествени радионуклиди;
- укрепване на мерките, насочени към предотвратяване и пресичане на незаконното движение през държавната граница на Руската федерация на радиоактивни вещества, продукти от тях, ядрени материали, радиоактивни отпадъци и тяхното незаконно движение на територията на страната.

Основни инструменти за прилагане на държавната политика в областта на осигуряването на ядрената и радиационната безопасност са:⁸

- система от изисквания за осигуряване на ядрена и радиационна безопасност, установени от федералните закони и други регулаторни правни актове на РФ и документи за стандартизация;
- лицензиране, регистрация на организации, работещи с използване на радиационни източници, съдържащи радионуклидни източници от четвърта и пета категория на радиационна опасност, акредитация, атестация, оценка на съответствието, издаване на разрешения за емисии и изхвърляния на радиоактивни вещества в околната среда, издаване на сертификати-разрешителни за транспортиране на радиоактивни вещества, продукти от тях, ядрени материали, санитарно-епидемиологична експертиза, издаване на санитарно-епидемиологични заключения, регистрация на лекарствени форми и медицински изделия;
- държавни регулации в областта на използването на атомната енергия, контрол (надзор) на безопасността в тази област, включително използване на подход, основан на риска;
- държавни и федерални целеви програми в областта на ядрената и радиационната безопасност, защитата на населението и териториите от извънредни ситуации, както и програми на Съюзната държава (Русия и

⁸ Указ Президента Российской Федерации от 13.10.2018 г. № 585 Об утверждении Основ государственной политики в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности Российской Федерации на период до 2025 года и дальнейшую перспективу. <http://www.kremlin.ru/acts/bank/43631/page/3>

Беларус)⁹ и междудържавни целеви програми, в изпълнението на които РФ участва;

- системи за ядрена и радиационна безопасност и свързани системи за безопасност, вкл.: система за регулиране на безопасността при използване на атомната енергия, единна държавна система за мониторинг на радиационната обстановка на територията на РФ, единна държавна система за мониторинг и отчитане на индивидуалните дози на облъчване, система за радиационно-хигиенно сертифициране на организации и територии, система за нормиране на емисиите и изхвърлянията на радиоактивни вещества в околната среда, система за отчитане и контрол на радиоактивни вещества, ядрени материали и радиоактивни отпадъци, единна държавна система за управление на радиоактивните отпадъци, система за физическа защита на ядрени материали, ядрени съоръжения и хранилища за ядрени материали, единна държавна система за предупреждение, предотвратяване и ликвидиране на извънредни ситуации, система за мониторинг, прогнозиране и планиране в областта на радиационната защита на населението;

- организационни и управленски решения, насочени към създаване на система за отчитане на обекти от ядреното наследство; организационни и технически мерки за осигуряване на ядрена и радиационна безопасност, предприети от организации, експлоатиращи ядрени съоръжения за мирни и отбранителни цели; държавен отчет и контрол на устройства, генериращи йонизиращи лъчения; държавен контрол (надзор) за осигуряване на техническа безопасност на съоръжения, използващи атомна енергия за мирни и отбранителни цели; държавен контрол за осигуряване на безопасността при транспортирането на ядрени материали, радиоактивни вещества и продукти, произведени от тях;

- федерален държавен надзор в областта на ядрената и радиационната безопасност при разработването, производството, изпитването, експлоатацията, съхранението и утилизацията на ядрени оръжия, военни атомни електроцентрали и в областта на физическата защита на ядрени материали, ядрени инсталации и пунктове за съхранение на ядрени материали в ядрени обекти; ведомствен контрол (надзор) за осигуряване на безопасността на ядрените оръжия;

- наблюдение на нивото на професионална подготовка, преквалификация на работници (персонал), постоянно или временно работещи директно с източници на йонизиращи лъчения, както и създаване на браншови специализирани центрове за обучение, оборудвани със

⁹ Съюзна държава - наддържавно образувание между Русия и Беларус с поэтапно организиране на единно политическо, икономическо, военно, митническо, валутно, правно, хуманитарно, пазарно и културно пространство. Информационно-аналитическият портал Союзного государства. <https://soyuz.by/>

съвременни учебни и технически средства и използващи образователни и методически разработки в тяхната дейност.

Федералната целева програма „Осигуряване на ядрена и радиационна безопасност за 2016-2020 г. и за периода до 2035 г.“¹⁰ (Програма ЯРБ 2) е логично продължение на работата за решаване на проблемите с ядреното наследство, изпълнена в предходния период в рамките на на Федералната целева програма „Осигуряване на ядрена и радиационна безопасност за 2008 г. и за периода до 2015 г.“¹¹ (Програма ЯРБ 1).

Внедряването на Програма ЯРБ 1 позволява да се решат най-острите проблеми, да се изяснят основните количествени характеристики на обектите с ядрено наследство и да се направи преценка за продължителността и обхвата на необходимата работа. Окончателното решение на натрупаните проблеми включва извеждане от експлоатация на всички остарели ядрено и радиационно опасни обекти, преработка на цялото количество отработено ядрено гориво, съхраняващо се на територии, които са федерална собственост, погребване на радиоактивните отпадъци, преработка и препогребване на натрупаните и вече погребани радиоактивни отпадъци, консервиране на специалните площадки за погребване на радиоактивни отпадъци и рехабилитация на радиоактивно замърсените територии.

Програма ЯРБ 2 е разработена съгласно заповед на министър-председателя на РФ от 2 юни 2014 г. Концепцията на програмата е одобрена с постановление на правителството на РФ от 28 април 2015 г.¹², а самата програма е одобрена с постановление на правителството на РФ от 19 ноември 2015 г.¹³

Като първи в списъка на основните проблеми в областта на ядрената и радиационната безопасност се идентифицират - наличието на обекти от ядрено наследство, по отношение на които са необходими допълнителни мерки за завършване на техния жизнен цикъл и (или) възстановяване, натрупването на отработено ядрено гориво и радиоактивни отпадъци.

Основна цел на Програма ЯРБ 2 е цялостно осигуряване на ядрена и радиационна безопасност в РФ чрез решаване на приоритетните проблеми, свързани с ядреното наследство.

Основни задачи на програмата са:

- създаване на инфраструктурни съоръжения, включително съоръжения за преработка на натрупано отработено ядрено гориво и

¹⁰ Федеральная целевая программа „Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2016 – 2020 годы и на период до 2035 года“. <https://xn----btb4bfrm9d.xn--p1ai/>

¹¹ Федеральная целевая программа „Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2008 год и на период до 2015 года“. <https://xn----btb4bfrm9d.xn--p1ai/about/overview/>

¹² Официальный интернет-портал правовой информации. <http://publication.pravo.gov.ru/SignatoryAuthority/government>

¹³ Официальный интернет-портал правовой информации. <http://publication.pravo.gov.ru/SignatoryAuthority/government>

радиоактивни отпадъци, както и изграждане на съоръжения за погребване на радиоактивни отпадъци;

- привеждане на наследени ядрени съоръжения в ядрено и радиационно безопасно състояние;

- редовно изпълнение и намаляване на държавните задължения, свързани с последиците от минали дейности в областта на използването на атомната енергия.

Въз основа на поставените задачи Програма ЯРБ 2 включва повече от 130¹⁴ дейности, които се изпълняват в четири направления:

- създаване на основни инфраструктурни съоръжения за управление на отработено ядрено гориво и радиоактивни отпадъци

- практически решения на проблемите, свързани с предишни дейности

- разработване на системи за мониторинг и осигуряване на ядрена и радиационна безопасност и повишаване на защитата на работниците (персонала) на ядрените съоръжения, населението и околната среда от радиационно облъчване

- научно, методическо и информационно осигуряване на работата в областта на осигуряването на ядрена и радиационна безопасност.

След реализиране на програмата се очаква постигане на ефективност в три аспекта:

Икономическа ефективност. Предотвратяване на финансови загуби, политически и други щети чрез предотвратяване на аварийни ситуации с радиологични последици в наследени ядрени обекти. Намаляване на бъдещите бюджетни разходи чрез намаляване на броя на наследените ядрени съоръжения и намаляване на разходите за безопасна поддръжка на спрени съоръжения в случай на планираната им ликвидация. Намаляване на федералните разходи за безопасно поддръжане на отработено ядрено гориво и натрупани радиоактивни отпадъци чрез създаване и използване на основни инфраструктурни съоръжения и преход към директно погребване на радиоактивни отпадъци. Повишаване на инвестиционната привлекателност на ядрената индустрия чрез осигуряване на ядрена и радиационна безопасност на всички етапи от жизнения цикъл на ядрените съоръжения и намаляване на рисковете за околната среда.

Социална ефективност. Създаване на условия за намаляване на нивото на социално напрежение в регионите, където се намират опасни ядрени съоръжения поради извеждането им от експлоатация, вкл. в големите и ядрени градове (Москва, Санкт Петербург, Мурманск, Архангелск, Ангарск, Северск, Железногорск, Озерск, Обнинск, Димитровград и др.)¹⁵, и привеждане в съответствие с критериите за

¹⁴ Мероприятия программы. <https://xn----btb4bfm9d.xn--p1ai/about/events-program/>

¹⁵ Закрытых территориально-административных образований (ЗАО). <https://www.atomic-energy.ru/smi/2012/07/30/35162>

приемане и предаване на радиоактивни отпадъци за погребване. Осигуряване на приемливо ниво на риск от радиационно облъчване от ядрени съоръжения, източници на йонизиращи лъчения от техногенен и естествен произход върху хората и околната среда. Увеличаване на заетостта на персонала на организациите от ядрената индустрия и свързаните с нея индустрии (до 15 хил. души) и развитие на компетенциите в областта на крайния етап от жизнения цикъл на ядрените съоръжения. Подобряване на оборудването на централите по хигиена и епидемиология на Федералната медико-биологична агенция¹⁶ за целите на радиационния и дозиметричен контрол на персонала и населението.

Екологична ефективност. Рехабилитация на замърсени с радиация територии. Намалване на радиационното въздействие върху околната среда в резултат на модернизацията на защитните инженерни бариери и привеждането на ядрени и радиационно опасни съоръжения в екологично безопасно състояние.

Основни фактори, обуславящи тенденциите на държавната политика в областта на ядрената и радиационната безопасност: нарастваща роля на ядрената енергия и ядрените технологии за осигуряване на устойчиво развитие на РФ и реализиране на нейните национални интереси; създаване на по-модерни и по-безопасни ядрени технологии, инсталации и оборудване, повишаващи устойчивостта на проектираните и експлоатирани съоръжения за използване на атомната енергия за мирни и отбранителни цели срещу природни, техногенни аварии; увеличаване на количеството материали с високо съдържание на естествени радионуклиди, както и устройства, генериращи йонизиращи лъчения; повишаване на националните и международните изисквания за осигуряване на ядрена и радиационна безопасност и опазване на околната среда; формиране на екологично ориентиран модел за развитие на държавната икономика и засилване на държавния екологичен надзор върху осъществяването на стопанските дейности; развитие на външноикономическата дейност на РФ в областта на използването на атомната енергия, включително увеличаване на обема на задълженията за предоставяне на чужди държави на услуги в тази област, вкл. преработка на отработено ядрено гориво; необходимост от предприемане на мерки през следващите десетилетия за предотвратяване на разпространението на радиоактивни вещества извън зоните на радиоактивно замърсяване; повишаване на ролята на обществеността при вземането на решения в областта на използването на атомната енергия, вкл. по въпроси, свързани с управлението на отработеното ядрено гориво и радиоактивните отпадъци.

Държавната политика в областта на осигуряването на ядрена и радиационна безопасност се осъществява чрез координирана и

¹⁶ Федеральное медико-биологическое агентство. <https://fmba.gov.ru>

целенасочена дейност на държавните органи на Руската федерация, държавните органи на нейните съставни образувания, местните власти, държавната корпорация „Росатом“, организации и граждани.

Използвани източници:

1. Указ об утверждении Основ государственной политики в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности Российской Федерации на период до 2025 года и дальнейшую перспективу <http://static.kremlin.ru/media/events/files/ru/sQpN4HPIbegqGoLy1A7llzta3uAlpAbj.pdf>

2. Федеральный закон от 21 ноября 1995 г. N 170-ФЗ „Об использовании атомной энергии“ <http://base.garant.ru/10105506/>

3. Федеральный закон от 1 декабря 2007 г. N 317-ФЗ „О Государственной корпорации по атомной энергии „Росатом““ <http://base.garant.ru/12157441/>

4. Постановление Правительства РФ от 2.08.2010 № 588 „Об утверждении Порядка разработки, реализации и оценки эффективности государственных программ Российской Федерации“ <http://base.garant.ru/198991/>

5. Постановление Правительства РФ от 19 октября 2012 г. N 1069 „О критериях отнесения твердых, жидких и газообразных отходов к радиоактивным отходам, критериях отнесения радиоактивных отходов к особым радиоактивным отходам и к удаляемым радиоактивным отходам“ <http://base.garant.ru/70247038/>

6. Федеральный закон от 11 июля 2011 г. N 190-ФЗ „Об обращении с радиоактивными отходами и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации“ <http://base.garant.ru/12187848/>

Адрес за кореспонденция:

*Нина Пламенова Паскалева, бакалавър КИС,
Шуменски университет „Епископ Константин Преславски“
Факултет по технически науки
2170020025@shu.bg, +359894639693*

*Мирослав Николаев Кацаров, магистър КТАП,
Шуменски университет „Епископ Константин Преславски“
Факултет по технически науки
katzarov@abv.bg, +359988842438*

DOI: 10.34660/INF.2023.56.70.015

ЗАЩИТА НА НАСЕЛЕНИЕТО ПРИ ОПАСНОСТ ОТ РАДИАЦИОННА АВАРИЯ

Еда Закир, Деян Иванов

PROTECTION OF THE POPULATION AT RISK OF A RADIATION ACCIDENT

Eda Zakir, Deyan Ivanov

Abstract: *In the increasingly complex environmental world we live in, along with social, economic and technological changes, the weather is also changing, all of which require responding to a wide range of vehicle incidents, medical incidents, hazardous substance incidents and natural disasters. This requires an ever-greater commitment of the population in ensuring a timely response. At the same time, volunteering faces challenges such as changing expectations from volunteers, demographic changes and lack of financial and technical resources.*

Keywords: *Radiation, actions, energy, radiation accident, irradiation*

1. Въведение

Радиацията описва всеки процес, при който енергията, излъчвана от едно тяло, преминава през среда или през пространството, за да бъде абсорбирана от друго тяло. Може да бъде класифицирана в зависимост от ефектите, които произвежда върху материята, на йонизиращи и нейонизиращи лъчения. Йонизиращото лъчение включва космически лъчи, рентгенови лъчи и радиация от радиоактивни материали. Нейонизиращото лъчение включва лъчиста топлина, радиовълни, микровълни, терахерцово лъчение, инфрачервена светлина, видима светлина и ултравиолетова светлина.

Естествените източници на радиация присъстват в цялата околна среда. Като цяло естествените източници на радиация са трудни за контролиране и е невъзможно хората да избегнат напълно излагането им. В някои изключителни случаи, например използването на радон в домовете, могат да се предприемат икономически ефективни мерки за намаляване на

облъчването. В допълнение към естествената радиация, тестовите на ядрени оръжия и ядрените аварии, като тези в Чернобил през 1986 г. и Фукушима през 2011 г., генерират допълнителна радиация, която в момента също присъства в околната среда.

2. Потенциални рискове

Най-голямата заплаха идва от директните ефекти на експлозията отколкото от радиационното облъчване или замърсяване. Най-големият радиационен риск идва от неподозираното вдишване или поглъщане на материала, разпръснат чрез експлозия или вследствие на пожар, или ръчно разпръскване на радиоактивни отломки или материал от недетониращо устройство. Инхалационният риск е основно по следата на разпространение на пушека от експлозията до 100 m от източника на освобождаване. Съмнението за откриване на плутоний може да бъде потвърдено само по земята, близо до експлозията, но ще бъде и много опасно. Външното замърсяване няма да бъде вероятно толкова опасно, отколкото поглъщането поради мръсни ръце и други причини. Ограничения престой на членовете на аварийния екип близо до ИЙЛ в не експлоатиращо взривно устройство или големи парчета от отломките не би следвало да бъде опасно, но задържането и съхранението на такъв материал може да доведе до облъчвания и то за няколко минути. Спасителните екипи са основно екипирани с респираторни апарати за защита, която ги пази от риска за поглъщане на РАВ чрез вдишване. Наличната апаратура позволява да се установяват рисковете от външно облъчване, но не може да установява риска при вдишване на РАВ, характерно за такива с участъци. Възможно е да се очакват враждебни действия срещу институциите и икономическите субекти, в т. ч. и негативни икономически последици при неправилно адресиране на съответните действия към съответните институции. Раковите заболявания не биха могли да бъдат наблюдавани при този вид авария, нито да се установят като последица от нея, даже и при използването на големи количества от радиоактивни вещества [1, 3].

3. Действия при опасност от радиоактивните аварии

Опасността от замърсяване с радиоактивни вещества може да възникне вследствие на радиационна авария, трансграничен пренос, при нарушаване мерките за безопасност при работа с източници на йонизиращи лъчения или вследствие на ядрен удар. Въпросите, свързани със сигурността на атомните централи, имат първостепенно значение. Извършва се непрекъснат радиационен контрол и се предприемат изключително строги превантивни мерки за недопускане на аварийна опасност от АЕЦ. Осъществява се обмен на информация чрез Международната агенция по атомна енергия /МААЕ/ към ООН, подписани са двустранни спогодби между съседни страни за уведомяване и оказване на помощ. Вероятността

за възникване на авария в атомна електроцентрала е сведена до възможния минимум. В подкрепа на сигурността е предвидена организация за реагиране в случай на авария. Разработени са планове и разчети и са предвидени средства за индивидуална и колективна защита. При радиационна обстановка хората може да получат облъчване от радиоактивното замърсяване: външно при престояване в замърсен район и вътрешно - чрез вдишване на радиоактивен въздух, както и чрез хранителни продукти и вода. При повишена радиоактивност съществува опасност за хората, но защитата от радиоактивно облъчване е възможна. Специализираните държавни органи предвиждат мерки за ограничаване на облъчването на населението, но за да можете да изпълнявате поточно указанията при всяка конкретна ситуация е добре да имате предварителни познания [1, 2, 4].

3.1. Определяне на защитни действия

Стъпките за избор на защитни мерки и действия, включват: анализиране на заплахата, избор на защитни действия, определяне на предупреждението за населението, определяне на план за действие; За извършване на анализ на заплахата е изключително важно в щаба непрекъснато да постъпва информация от всички части на ЕСС, имащи отношение към бедствието. Щабът определя от каква информация има нужда, периодичността на постъпването ѝ, както и отговорник по нейното събиране и обобщаване. Основните видове неотложни защитни мерки, които трябва да бъдат приложени незабавно в първите часове след възникването на ядрена или радиационна аварийна обстановка, са:

1. уведомяване и оповестяване на режим за поведение на населението с оглед намаляване на облъчването до най-ниското възможно ниво, което може да се постигне;
2. деконтаминация на пострадалите и допълнителни изисквания към обществената и личната хигиена;
3. индивидуален и радиационен мониторинг;
4. ограничаване и контрол на достъпа в местата и районите, замърсени с радиоактивни вещества, включително ограничаване на консумацията на хранителни продукти, които са потенциално замърсени с радиоактивни вещества;
5. защита на дихателните органи и кожа;
6. използване на защитни облекла;
7. укриване;
8. йодна профилактика;
9. евакуация.

3.2. Предупреждение и оповестяване на населението

В случай на ядрена авария засегнатото население незабавно се уведомява от органите за управление съобразно тяхната компетентност и

периодично се информира за аварията, нейните характеристики, предвидените защитни мерки като:

- мерките за защита на здравето, които трябва да бъдат предприети, включително: съвети за лична хигиена и дезактивация, ограничаване на консумацията на определени хранителни продукти, които е възможно да са замърсени с радиоактивни вещества, пребиваване в затворени помещения; - основна образователна информация за радиацията и нейното въздействие върху човешкото здраве и околната среда;

- организацията по раздаване и използване на индивидуални средства за защита и лекарствени средства;

- организация в случай на възможна евакуация;

- информация за съдействие на органите на изпълнителната власт и аварийните екипи и спазване на техните разпореждания.

4. Мерки за предотвратяване или намаляване на риска от бедствия

4.1. Експертиза на състоянието на критичните и потенциално опасни обекти и съоръжения имащи отражение върху повече от една община.

Отговорни длъжностни лица за изготвяне на експертизи. Отговорност за определяне на критичните и потенциално опасни обекти и изготвянето на експертизи за тях е на Директора на дирекция „Административен контрол, регионално развитие и държавна собственост” от областна администрация и ръководителите на фиксираните в плана обекти от критичната инфраструктура.

4.2. Системи за наблюдение, ранно предупреждение и оповестяване на органите за управление, силите за реагиране и населението.

Изграждането и поддържането на системи за наблюдение, ранно предупреждение и оповестяването на органите за управление, силите за реагиране и населението е елемент на задължителната превантивна дейност в частта ѝ относно прилагане на превантивни мерки за недопускане или намаляване на последиците от бедствия.

На територията на областта има изградена система за наблюдение на радиационния фон, която е част от националната система.

5. Обучение на органите за управление, силите за реагиране и населението.

5.1. Отговорни длъжностни лица от областна администрация за организиране и провеждане на обучението. Органите на изпълнителната власт и другите държавни органи се обучават за защита при бедствия. Отговорност за обучението имат Областен управител, Зам. Областен управител с ресор „Защита при

бедствия” и главен секретар на областна администрация.

5.2. Провеждане на учения за отработване на взаимодействието между органите за управление, съставните части на Единната спасителна система и населението при бедствия/аварии. Подготовката на съставните части на Единната спасителна система се извършва чрез провеждане на тренировки и учения с цел установяване състоянието на комуникационно-информационната система, готовността на екипите за реагиране и подобряване взаимодействието и координацията на съставните части и органите на изпълнителната власт. Планираните тренировки и учения се финансират от републиканския бюджет.

6. Дейности за намаляване на риска.

Намаляването на риска за живота и здравето на населението при радиационна авария обуславя необходимостта от предприемане на цялостна система от превантивни мерки и подготовка на силите за реагиране и населението при критична ситуация. В зависимост от това дали цялата област е подложена на радиоактивно замърсяване или част от нея, ще се създават необходимите групировки от сили и средства, прегрупиране и при необходимост включване на допълнителни сили и средства на основните и други съставни части на единната спасителна система. Ведомствата и фирмите създават необходимите групировки от сили и средства съгласно плановете си за защита при бедствия и съобразени с конкретната обстановка [4, 8].

А. Постовете за радиационно наблюдение и информация работещи в учестен режим осъществяват непрекъснат контрол на гама-фона.

Б. Дозиметричния контрол за заразеността на въздуха, почвите, водите, хранителните и селскостопански продукти, животните и животинската продукция се извършва чрез пробовземачески групи към лабораториите на РЗИ, ДВСК, В и К, ВХЕИ – ВС и ОДБХ, а анализа и експертното заключение се правят и дават в лабораториите на РИОСВ – Стара Загора и РИОСВ – Бургас.

В. Дозиметричния контрол на хората се осъществява с индивидуални дозиметри и организирано по груповия способ в болничните заведения.

Г. Ведомствата и фирмите чрез собствени разузнавателни органи осъществяват дозиметричен контрол на техниката и прилежащите им райони.

Д. Фирмите за комунално-битови услуги създават основните групировки от собствени и придадени сили и средства за извършване на СНАВР. В това направление ще действат и придадени сили и средства от териториалните модули на ВС, съгласно плана за взаимодействие. Фирма “В и К” чрез специализираните си групи създава условия за нормално или режимно водоснабдяване на населените места при провеждане на СНАВР.

Е. ОПУ и фирмите “Пътно поддържане” имат готовност за извършване на ликвидационни мероприятия по цялата пътна мрежа в областта и прилежащите и сервитути.

Ж. Ведомствата и фирмите със собствени сили и средства провеждат спасителни и ликвидационни мероприятия на прилежащите им територии.

З. Кметовете на общини организират и координират временното извеждане и предоставяне на неотложна помощ на пострадали лица, предоставянето на възстановителна помощ на населението и извършването на неотложни възстановителни работи при бедствия.

Времето и организацията за започване на СНАВР зависи от данните от радиационното разузнаване, скоростта за придвижване на радиационния облак, метеорологичната обстановка, засегнатостта на областта като цяло или отделни райони. Въвеждат се в действие първо силите и средствата за извършване на общите ликвидационни мероприятия – дезактивация и обеззаразяване.

Освобождаването на колективните средства за защита от населението ще стане, след като се извършат основните ликвидационни мероприятия за намаляване на риска от радиационно заразяване и след съобщение по средствата за масово осведомяване.

Ликвидационните мероприятия включват:

- Извършване на постоянен дозиметричен контрол.
- Дезактивация на улици, тротоари, площи, детски площадки, паркинги, пазарища, водосточни съоръжения и др.
- Дезактивация на пътна мрежа, пътни съоръжения и сервитути.
- Дезактивация на здания, техника и оборудване.
- Дезактивация на водоизточници и водоподаващи съоръжения;
- Дезактивация във фирми, складове за хранителни стоки, магазини;
- Дезактивация в болнични заведения, ведомства, учреждения;
- Заразени отпадъчни материали се загробват на специално подготвени места, определени от специализираните общински служби;
- Дезактивация на тревни площи;
- Дезактивация на ферми, обори, складове за фуражи и прилежащите територии;
- Преораване или снемане на заразени почви и депонирането им в

специални депа;

- Няколкократно провеждане на някои мероприятия предизвикано от неблагоприятни атмосферни условия.

Дезактивация и обеззаразяване се провежда и чрез използването на специални технологии за преработка на животинска и селскостопанска продукция. Целта на тези мероприятия е получаване на крайни продукти за задоволяване потребностите на населението, които да отговарят на изискванията на БДС и ОНРЗ [5, 6].

Прилагането на специални рецептурни решения в млекопреработването и месопреработването водят до редуциране степента на радиоактивно замърсяване под известни прагови норми, временни аварийни норми и минимализиране натрупването на радионуклиди в организма на хората.

Освен технологичните се правят и други радиационно-защитни мероприятия, като:

- спазване на санитарно-хигиенните мероприятия
- Изхранването на децата, бременните жени и майките кърмачки с наличните най-чисти храни. За целта по разчети на РЗИ ще се разкрият районирано пунктове, които ще се снабдяват директно от складовете на фирмите, под контрола на медицинските органи и РЗИ, с херметизирани и обработени по специални технологии хранителни продукти. Като такива могат да се използват създадените райониранни детски кухни;
- Снабдяване с хранителни продукти в складовете и магазините от незасегнати райони;
- Приемане с складовете и борсите на растителни продукти след дозиметричен контрол и сертификат;
- Разкриване от фирма “В и К” на временни водораздаващи пунктове. При необходимост се усилват с водоноски от базите на ОУПБЗН и от ВС;
- Организиране в общинските и районни болници за амбулаторно изследване на групите, извършващи ликвидационни мероприятия и населението. Извършването на мероприятия по дезактивация чрез изгаряне на радиоактивно замърсени продукти и предмети не се допуска.
- Използване на водоизточници от дълбоки сондажи, йодни таблетки и правила за поведение при ядрена авария 1

7. Заключение:

Целта на изследването е да се създаде необходимата организация за съвременното и точно прогнозиране на характера и последствията от ядрена или радиационна авария и успешно изпълнение на защитни действия, предупреждение на населението, повишаване на готовността за реакция и капацитета на частите на единната спасителна система и органите за управление на областно ниво при организиране и координиране на действията по време на радиоактивното замърсяване, както и при

възстановяване от нанесените щети [5, 7].

Използвани източници:

1. План за защита при ядрена или радиационна авария на област Благоевград

https://www.blagoevgrad.government.bg/images/stories/documenti/Saveti/OSN RB/Plan/1-3-Yadrena_avaria.pdf

2. ПЛАН за защита при бедствия на Столична община част III – Ядрена или Радиационна авария, Трансграничен пренос на радиоактивни вещества и Аварии с радиоактивни източници и материали

<https://www.sofia.bg/documents/20182/302128/%D0%9F%D0%BB%D0%B0%D0%BD+%D0%A0%D0%B0%D0%B4%D0%B8%D0%B0%D1%86%D0%B8%D1%8F+%D1%87%D0%B0%D1%81%D1%82+III+13032019.pdf/fc395710-18a7-4b82-b6ae-0285dbd0b5e4>

3. Осми национален доклад на Република България по конвенцията за ядрена безопасност, София, 2019 г.

4. НАРЕДБА за аварийно планиране и аварийна готовност при ядрена и радиационна авария

5. НАРЕДБА за радиационна защита

6. Защитни мерки при аварии с възможни радиационни последствия за населението <https://bnra.bg/bg/avarien-tsentar/zashhitni-merki-pri-avarii-s-vazmozhni-radiatsionni-posledstviya-za-naselenieto/>

7. <https://www.kznpp.org/bg/mezhdunarodno-satrudnichestvo>

8. Поведение и действие на населението при авария в АЕЦ и трансграничен пренос на радиоактивни вещества

<https://www.dobrich.bg/bg/news/3467-%D0%BF%D0%BE%D0%B2%D0%B5%D0%B4%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5-%D0%B8-%D0%B4%D0%B5%D0%B9%D1%81%D1%82%D0%B2%D0%B8%D0%B5-%D0%BD%D0%B0-%D0%BD%D0%B0%D1%81%D0%B5%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5%D1%82%D0%BE>

Адрес за кореспонденция:

Еда Закир,

Шуменски университет „Епископ Константин Преславски“

Факултет по технически науки

e.zakir@shu.bg

Деян Иванов,

Шуменски университет „Епископ Константин Преславски“

Факултет по технически науки

deqn.plamenov@abv.bg

DOI: 10.34660/INF.2023.77.61.016

**БЕЗОПАСНЫЕ УСЛОВИЯ И ИННОВАЦИОННЫЕ
МЕТОДЫ ОБУЧЕНИЯ БУДУЩИХ СПЕЦИАЛИСТОВ В
ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЯХ**

**Грибан В.Г., Фоменко А.Е., Скрипченко И.Т.,
Мельников В.Л.**

**SAFE CONDITIONS AND INNOVATIVE METHODS OF
TRAINING FUTURE SPECIALISTS IN HIGHER EDUCATION
INSTITUTIONS**

**Griban V.G., Fomenko A.E., Skripchenko I.T.,
Melnikov V.L.**

***Abstract.** The article discusses innovative teaching methods, their advantage over traditional ones. Innovation is a direct way of integrating education, science and production, adequate to the knowledge economy. At the same time, innovations in all aspects: organizational, methodological and applied, are the main tools for improving the quality of education.*

***Key words:** method, application, innovation, training, education, training, specialists, activity, electronic resource, educational process.*

***Анотация.** В статье рассматриваются инновационные методы обучения, их преимущество по сравнению с традиционными. Инновации - это прямой путь интеграции образования, науки и производства, адекватный экономике знаний. Одновременно инновации во всех аспектах: организационном, методическом и прикладном, - это основной инструментариум улучшения качества образования.*

***Ключевые слова:** метод, применение, инновации, обучение, образование подготовка, специалисты, деятельность, электронный ресурс, учебный процесс.*

Подготовка высококвалифицированных специалистов, которые характеризуются профессиональной мобильностью, способностью к быстрой адаптации к непредвиденным условиям требует от высшей школы новых серьезных усилий.

Профессиональное становление специалиста – процесс длительный и сложный, поэтому преподавательскому составу необходимо постоянно изыскивать и применять такие методы, средства и формы организации

ученого процесса, которые обеспечивали бы лучшее овладение студентами теоретическими знаниями и практическими навыками.

В сложившихся условиях в связи с пандемией ковид-19 у большинства вузов Украины занятия проводятся дистанционно. Отсутствие непосредственного контакта преподавателя со студентами для реализации той или иной задачи, поставленной на занятии, приходится использовать самые различные современные инновационные методы и технологии обучения для получения положительного результата.

Постановка проблемы. В последние годы происходят кардинальные изменения в процессе подготовки специалистов в вузе, обусловленные современными тенденциями развития высшего профессионального образования. Применение современных образовательных технологий и методов для подготовки специалиста должно быть направлено на формирование:

- высокого профессионализма и компетентности, креативного мышления, творческой активности, инициативности личности;
- конкурентоспособного специалиста, способного работать в новых условиях рынка;
- деловых качеств специалиста, для которого характерен высокий уровень профессиональной подготовки;
- научных основ управления;
- высокого уровня административных способностей

Анализ основных исследований и публикаций по данной проблеме.

Появление и развитие активных методов обучения обусловлено тем, что перед образованием встают новые задачи: не только дать учащимся знания, но и обеспечить формирование и развитие познавательного интереса и способности, творческого мышления, умений и навыков самостоятельного, полноценного умственного труда [1]. Современные методы обучения базируются на инновационных технологиях. Инновация – это прямой путь интеграции образования, науки и производства, адекватный экономике знаний. Одновременно инновация во всех аспектах: организационном, методическом и прикладном – это основной инструментальный улучшения качества образования [2].

Основные характеристики и проблемы традиционных и инновационных методов образования нашли отражение в работах таких специалистов, как С.Ю. Бунтовский, С.И. Гессен, В.Д. Данчук, Л.И. Романков, Б.И. Хорошук. Педагогические инновации стали объектом исследования И.М. Дичковской, В.И. Козлова, М.А. Бондаренко и др... Теоретическим основам становления и развития инновационных образовательных систем посвящены работы М.Ю. Олешкова, О.В. Чумака и др. Однако некоторые аспекты использования инноваций в сфере

современного образования требуют более детального рассмотрения, конкретизации и совершенствования.

Цель данной статьи состоит в исследовании инновационных технологий и современных методов обучения студентов юридических и смежных профессий у высшей школе.

В условиях глобализации и инновационных изменений большое значение в развитии образования приобретает использование разнообразных информационных, интеллектуальных и инновационных образовательных технологий. Инновационные образовательные технологии как процесс – это «целенаправленное, систематическое и последовательное внедрение в практику оригинальных, новаторских способов, приемов педагогических действий и средств, охватывающих целостный учебный процесс от определения его цели к ожидаемым результатам».

Целью использования инновационных технологий обучения является повышение качества и обеспечение доступности образования на уровне европейских стандартов. Актуальными задачами на этом пути являются:

- развитие системы образования в течении жизни;
- совершенствование системы внешнего независимого оценивания;
- интеграция образования и науки, что является необходимым условием обеспечения качества и ее живого развития.

Важными составляющими учебной среды, где используются инновационные технологии обучения, выступают современные средства обучения [3]: аудиовизуальные, активные методы обучения: «мозговой штурм», «метод кейсов», «метод проектов», современные технологии обучения: «дебаты», «диспут», «коллаж», игры-тренинги, а также научно-исследовательская работа студентов разного уровня сложности.

Резкий скачок в развитии компьютерной техники и программного обеспечения способствовал внедрению в учебный процесс таких технологий как: мультимедиа-технологии, интернет-технологии, Web-дизайн, а их правильное использование способствует всестороннему развитию личности. Современные методы обучения предполагают использование средств массовой информации, в частности компьютерных сетей, web-сайтов, электронных учебников, видеопрограмм. Главной особенностью применения этих средств, кроме научной направленности, является их интерактивность. Она обеспечивает взаимодействие как между студентами, так и между студентами и преподавателями. Интерактивные средства обучения способствуют обмену информацией и организации совместной деятельности всех участников образовательного процесса.

Благодаря использованию активных методов обучения происходит активизация познавательной деятельности студентов и развитие их самостоятельного мышления. Активные методы обучения по своей сути направлены на образование собственной образовательной позиции

учащихся, предусматривают творческий подход к решению учебных, познавательных и научных проблем. С одной стороны, они способствуют постепенному повышению самостоятельности учебной деятельности, а с другой – создают условия для обсуждения проблем, возникающих в процессе обучения [4, 5].

Важнейшим компонентом современного образовательного процесса в Днепропетровском государственном университете внутренних дел, особенно в сложившейся обстановки в связи с пандемией ковид-19, является индивидуальная деятельность студентов, которая осуществляется посредством использования электронного ресурса со систематизированной информацией по изучаемой дисциплине (ЭРСИпИД). Он находится в открытом доступе и является простым в использовании, включает лекционный материал, теоретические вопросы и практические задания по теме, тематику самостоятельных и индивидуальных работ, расписание занятий, журнал оценок. Вход в систему закодированый. Каждый участник учебного процесса знает свой пароль для входа в систему. Лекции, практические и семинарские занятия проводятся по расписанию, учет посещаемости на занятиях студентами производится путем саморегистрации их в системе, между ними и преподавателем устанавливается аудио - и видео связь. Как итог, даже при отрыве от непосредственного общения студентов с преподавателем для них открываются все возможности для более тщательного, а самое главное, быстрого изучения и закрепления необходимого теоретического материала.

Однако сегодня к учебному процессу предъявляются особые требования о взаимосвязи теоретических знаний, приобретенных у высшего учебного заведения с практическими навыками. Для решения этого вопроса используется метод тестовых программ. Изучение только теоретического материала - это примерно 40% процентов в успешном решении поставленной задачи подготовки высоко эрудированных специалистов. Оставшиеся 60% во многом зависят от того, как выпускник сможет применить полученные знания на практике. И именно тестовые программы предоставляют такую возможность. Тестовые программы - это, в первую очередь, тренажеры, контрольные тесты, программы с интерактивным аспектом, которые направлены на взаимодействие с пользователем. Они предоставляют следующие возможности:

- закрепить полученные в учебном процессе знания, решив контрольный тест по необходимой теме;
- проанализировать результат выполнения задания;
- подобрать вопросы, схожие с теми, в которых были допущены ошибки;
- определить тот материал, который следует тщательно проработать.

Таким образом, осуществляется принцип «изучил – закрепил», который позволит обучающимся полностью овладеть необходимым материалом, потратив на это минимум времени, а также:

- 1 Выступать в качестве инструмента контроля успеваемости;
2. Оттачивать владение нормативом, используя программные тренажеры.

Этот процесс поддерживается цифровым сопровождением, что позволяет студенту не только улучшать время прохождения норматива, но и развивать зрительную память. Таким образом, комбинируя ЭРСИПД с тестовыми программами, можно получить исчерпывающие сведения по необходимой теме, закрепив их практическим заданием и, как итог, иметь высокую успеваемость. Однако, некоторые задачи в правозащитной деятельности не подразумевают единственно правильного решения, при этом следует учитывать и тот факт, что будущему правозащитнику необходимо будет принимать наиболее правильное решение в сложной обстановке за минимальное время. В связи с этим в учебном процессе распространение получили, так называемые, кейс-методы тестирования обучающихся [6]. Кейс – это описание конкретной ситуации в какой-либо сфере с сопутствующими факторами, для решения которой осуществляют разделение ее на отдельные относительно самостоятельные части, а затем – анализ каждой части, делают выводы, их объединяют для получения целостной картины. Соответственно, решить кейс – это значит проанализировать предложенную ситуацию и найти оптимальное решение, описание которого позволяет актуализировать определенный комплекс знаний, навыков и умений у обучаемых. Решение кейсов состоит из нескольких шагов: - анализа предложенной ситуации (кейса); - сбора и анализа недостающей информации; - обсуждения возможных вариантов решения проблемы; - выработка оптимального решения.

Преимущества кейс-метода по сравнению с традиционным методом тестирования состоит в том, что кейс-метод:

- имеет практическую направленность;
- позволяет применять теоретические знания для решения практических задач; а также оптимально сочетать теорию и практику;
- обеспечивает более эффективное усвоение материала на почве высокой эмоциональной вовлеченности обучающихся.

Обучающийся погружается в ситуацию с головой: у кейса есть главный герой, на место которого ставит себя обучающийся и решает проблему от его лица. Акцент в обучении делается не на овладение готовым знанием, а на его выработку. При этом формируются практические навыки, развивается креативное мышление, принимается нестандартное решение. И если в течение учебного цикла такой подход применяется многократно, то

у обучаемых вырабатывается устойчивый навык решения практических задач.

Одной из прогрессивных технологий обучения является развивающее обучение. Разновидностью развивающегося обучения является модульно-рейтинговая система обучения, которую используют как для обучения студентов, так и для быстрой оценки их знаний. Эта технология принята мировой практикой высшей школы с целью улучшения организации и повышения эффективности обучения студентов с использованием соответствующих учебных программ и компьютерной техники. Базируется система на мотивационных установках, которые понуждают студента к систематической работе над материалом учебной программы и его усвоением. При этом учебная дисциплина в логическом порядке делится на модули. Модуль – это часть учебной дисциплины, которая имеет самостоятельное значение и включает в себя, как правило, несколько по содержанию тем или разделов. Изучение программного материала в пределах модуля осуществляется на занятиях и в период самостоятельной работы студентов.

Рейтинговая оценка знаний студентов хотя и базируется на модульном контроле, однако предусматривает и поточный контроль на семинарских и практических занятиях, а также учитывается участие студентов в научно-исследовательской работе.

Таким образом, модульный принцип с рейтинговой оценкой знаний создает такие условия, при которых студенты систематически готовятся к занятиям, глубоко прорабатывая рекомендованную методическую и учебную литературу, ведут конспект лекций, принимают участие в научных кружках.

Не маловажное значение для качественной подготовки высококвалифицированных специалистов имеют условия, при которых осуществляется эта подготовка. Известно, что для творческой работы человеку большое значение имеют освещение и цвет, музыка и др. факторы [6].

Освещение – естественный источник творческой энергии, особенно солнечной, которая осуществляет прямое воздействие на разум и тело человека. Взаимосвязь между освещением и мышлением человека базируется на влиянии железы внутренней секреции – эпифиза, в котором образуется гормон мелатонин, способный положительно влиять на эмоциональное состояние человека. Солнечные лучи тормозят выделение мелатонина в кровь, что приводит к повышению эмоционального состояния, более эффективному восприятию материала и способности решать математические, научные и другие задачи.

Солнце излучает около 5% ультрафиолетовых лучей, влияющих на жизнедеятельность человека, повышая его устойчивость к воздействию

отрицательных факторов внешней среды, возбудителей заболеваний, активируют работу сердца, обменные процессы, синтез витаминов в коже. Все это положительно сказывается на работоспособности человека.

На психофизиологическое состояние человека существенно сказывается цветовое восприятие. Цвета действуют на эмоциональное состояние и работоспособность человека по – разному: одни цвета успокаивают, а другие - возбуждают. *Красный* цвет стимулирует нервные центры, активирует энергетические процессы в нервной системе, печени, мышцах, повышает внимание человека и его самозащиту, однако, при длительном воздействии этот цвет вызывает ощущение утомления, тахикардию, полипноэ, агрессивность, особенно у ярко-красных людей.

Оранжевый цвет воспринимается людьми как теплый, он согревает, бодрит, стимулирует до активной деятельности.

Желтый цвет активирует двигательные центры, анализаторы, генерирует энерги. мышц, способствует хорошему настроению. Его отрицательное воздействие имеет место при лихорадках, чрезмерном возбуждении, эйфории, зрительных галлюцинациях.

Зеленый цвет – цвет покоя, свежести, положительно влияет на сердечно-сосудистую систему, на настроение и работоспособность человека.

Синий и голубой цвета – свежие, прозрачные и легкие, снимают напряжение, владеют бактерицидными свойствами, повышают работоспособность, однако при длительном воздействии могут вызвать утомление и депрессию.

Черный цвет – похмурый тяжелый, резко понижает настроение, работоспособность, внимание.

Белый цвет – холодный, однообразный, способен вызвать апатию, понижение работоспособности. викликати апатію.

В зависимости от влияния на человека различают следующие действия комбинации цветов:

- энергетическое (придают силу, повышают работоспособность): оранжевый-белый, желтый-зеленый, зеленый-пурпуровый, синий-оранжевый;

- динамическое (повышают скорость реакции на раздражители, внимание): красный-оранжевый, черный-желтый, черный-красный, черный-оранжевый;

- освежающее: желтый-зеленый, голубой-серый, голубой-белый, зеленый-белый.

Цветовые оттенки стимулируют мышление и чувство.

Следовательно, чем больше окружают нас (в рекреациях, практикумах, лекционных залах) интересные и необыкновенные предметы (плакаты, рисунки, модели, картины и пр.), тем больше будет ассоциаций,

тем богатшим будет базис для мышления. Это имеет большое значение для вдохновения и творческого настроения.

Большое значение для повышения работоспособности студентов имеет музыка, определенный тип музыки способствует более эффективному запоминанию и усвоению учебной информации. Формированию рабочего настроения способствуют:

- звуки живой природы;

- классическая музыка – успокаивает и помогает сосредоточиться на решении проблем. В отдельных вузах практикуется читать лекции под классическую музыку (незначительной звучности);

- романтическая музыка стимулирует поток мысленных образов и мыслей.

Таким образом, для активизации учебного процесса следует применять современные дидактические инновационные методы, а также простые природные стимуляторы – нормальное (желательно солнечное) освещение, цветовое оформление, как композиционное средство, музыку и другое, что способствует повышению работоспособности и укреплению здоровья.

Список использованной литературы:

1. Грибан В.Г. Методические разработки для программированного обучения по физиологии человека и животных. Алма-Ата, 1976. – 77 с.

2. Батулин В.Ю. Инновационные методы обучения в преподавании экономических дисциплин // Инновационные технологии в обучении /Материалы международной научн.-практ. конференции. - Тюмень, 2016, С. 13-15

3. Современные методы обучения [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://4brain.ru/pedagogika/new-methods.php>.

4. Грибан В.Г. Застосування методів інноваційного навчання у сфері підготовки здобувачів вищої освіти з правоохоронної діяльності [Грибан В.Г., Мельников В.Л., Чобітько І.І. // Сучасні проблеми забезпечення національної безпеки держави: тези III Міжнародної науково-практичної конференції (26 листопада 2020 року). – К.: Інститут УДО України, 2020. С. 23-25.

5. Грибан В.Г. Сравнительная характеристика некоторых форм конструирования ответов в программированном обучении по физиологии человека и животных // Материалы республиканского научн.-метод. конф. по вопросам научной организации учебного процесса и применения ТСО обучения. Тбилиси, 1974. = 28 с..

6. Аничкин И.Ю. Кейсова технология в системе дистанционного обучения // Инновационные технологии в обучении /Материалы 1У международной н.-п. конференции. - Тюмень, 2016, С.40-42.

Адрес за корреспонденция:

Грибан В.Г., доктор биологических наук, профессор, Заслуженный работник народного образования Украины, Днепропетровский государственный университет внутренних дел

Фоменко А.Е., доктор юридических наук, ректор, Заслуженный юрист Украины, Днепропетровский государственный университет внутренних дел

Скрипченко И.Т., кандидат наук по физ. воспитанию и спорту, доцент, Днепропетровский государственный университет внутренних дел

Мельников В.Л., кандидат биолог. наук, доцент, Западно-Казахстанский университет инновационных технологий

DOI: 10.34660/INF.2023.32.54.017

БИОЛОГИЧНИ ПОСЛЕДСТВИЯ ОТ ЧЕРНОБИЛСКАТА КАТАСТРОФА

Грибан В. Г., Скрипченко И. Т., Чупірко К.

BIOLOGICAL CONSEQUENCES OF THE CHERNOBYL DISASTER

Hryban V.G., Skrypchenko I.T., Chupirko K.

Аварія на Чорнобильській АЕС стала одним з похмурих символів трагедії, до якої може призвести техногенна катастрофа. В результаті аварії стався викид в навколишнє середовище до 380 000 000 кюрі радіоактивних речовин, зокрема ізотопів урану, плутонію, йоду, цезію, стронцію. Всього в атмосферу було викинуто близько 520 небезпечних радіонуклідів. Загальна площа радіаційного забруднення України склала 50 тисяч квадратних кілометрів в 12 областях, радіаційному забрудненню піддалися і регіони України з територією майже 60 тисяч квадратних кілометрів і з населенням 2,6 мільйона осіб. Чорнобильська катастрофа – екологічно - соціальна катастрофа.

Вплив радіоактивного забруднення на біологічні об'єкти має прояви на всіх рівнях організації від вірусів до екосистем [1-5]. Особливо яскраво ці ефекти виражені в межах Чорнобильської Зони відчуження, де біологічні об'єкти зазнали критичних рівнів ураження. З плином часу гострі прояви, такі як відмирання сосни та поява «Рудого лісу», змінюються на повільне відновлення біоти, яке супроводжується появою радіостійких форм, ослабленням природної стійкості до вірусних інфекцій та паразитів, появою мутантних форм, пригнічення росту, зниженням репродуктивної здатності та генетичними змінами за умов низькодозового опромінення в довгостроковій перспективі. Натомість відсутність або обмеження людського втручання сприяло відновленню природного характеру функціонування екосистем та збільшенню біорізноманіття, в тому числі за рахунок інтродукційних видів.

Радіаційні ефекти, виявлені на клітинному, організмовому і популяційному рівнях, не порушують загальної картини представленості флористичних і фауністичних комплексів. На території 30-км зони відчуження ЧАЕС об'єкти біоти – рослини, гриби, нижчі та вищі тварини,

мікроорганізми та віруси зазнають хронічного впливу іонізуючого випромінювання.

Зростання частоти виявлення вірусів спостерігається на забрудненій радіонуклідами території Зони відчуження, в тому числі значно вища частота виявлення вірусів рослин для рослинності 30-км зони. В першу декаду після аварії спостерігались істотні зміни видового складу мікроорганізмів у різних місцезростаннях. Показано, що у бактерій за умов підвищеного рівня радіоактивних забруднень субстрату зростала швидкість утворення мутантних форм, що вказує на можливість появи більш радіостійких форм. Сформувались штами грибів, збагачених на вміст меланінів.

Біота найбільш забруднених водоймищ характеризується високим рівнем радіоактивного забруднення. У тканинах риб нагромаджується не тільки цезій-137, але й стронцій-90 й ізомери плутонію і америцій, що спричиняє пошкодження репродуктивних тканин. У клітинах безхребетних тварин уражених водойм спостерігається підвищення рівню клітин з абераціями хромосом приблизно в 10 разів у порівнянні з «чистими» водоймами.

У амфібій та гризунів, котрі мешкають у Зоні відчуження, відбувається накопичення радіонуклідів у кістковій тканині, що призводить до розвитку дистрофічних перебудов в губчастих кістках, розшарування кісткових пластинок.

У поколіннях великої рогатої худоби, яка в перший рік аварії отримала дози біля $0,8 \text{ Гр} \cdot \text{рік}^{-1}$ (від ^{137}Cs), спостерігається: зниження плодючості та підвищення смертності новонароджених, зміни генетичної структури у поколіннях за умов низькодозового опромінення співпадають з реакціями популяції на екстремальні впливи чинників іншої, нерадіаційної природи. Отож, основна відповідь тваринного організму на хронічну дію іонізуючого випромінювання полягає в відборі нових генних сполучень в наступних поколіннях.

На основі вище зазначеного можна зробити наступні висновки: радіаційний фон порівняно з 1986 роком зменшився у сотні разів. Вжиті запобіжні заходи та процеси самоочищення призвели до зменшення вмісту радіонуклідів в об'єктах навколишнього середовища та в сільськогосподарській продукції, що в свою чергу призвело до зменшення внутрішнього опромінення населення. За час після аварії площі радіоактивно забруднених територій значно скоротились. Майже вдвічі збільшилася площа території України, де рівні забруднення ^{137}Cs співставні із доаварійними і більш ніж у двічі скоротилася площа території, де рівень забруднення ^{90}Sr перевищували доаварійні рівні. Рівень і масштаби забруднення території України ізотопами плутонію фактично не

змінилися. Активність ^{241}Am поступово зростає, за рахунок розпаду ^{241}Pu , а масштаби його поширення співставні із поширенням ізотопів плутонію.

Список використаної літератури

1. Гродзинський Д. М. и др. Радиобіологічні та радіоекологічні дослідження Чорнобильської катастрофи вченими НАН України // Вісник НАН України. – 2012.

2. Кісельов А. Ф. и др. Екологічні наслідки чорнобильської катастрофи та їх подолання // Науковий вісник Миколаївського державного університету імені ВО Сухомлинського. Серія: Біологічні науки. – 2014. – №. 3. – С. 31-33.

3. Моргун В.В., Якимчук Р.А. Генетичні наслідки Чорнобильської катастрофи: 35 років досліджень. Фізіологія рослин і генетика. 2021. 53, No 3. С. 216—239. <https://doi.org/10.15407/frg2021.03.216>

4. Остап Ю. С., Петруняк Т. С., Дунаєвська О. Ф. Екологічна чорнобильська катастрофа: медико-біологічний аспект // У світі хімії: до 35 річниці аварії на ЧАЕС: зб. матер. II Всеукр. студ. наук.-практ. конф., Житомир, 28 квітня 2021р. – Житомир, ФОП Бондар ММ, 2021. – С. 243-248.

5. Павловський В. А. и др. Віддалені наслідки Чорнобильської катастрофи // Вісник Житомирського державного університету імені Івана Франка. – 2003. – №. 11. – С. 249-252.

Адрес за кореспонденція:

Грибан В.Г., доктор біологічних наук, професор

Скрипченко І.Т., кандидат наук з фізичного виховання і спорту

Чупірко К., здобувач вищої освіти, Дніпропетровський державний університет внутрішніх справ

DOI: 10.34660/INF.2023.88.49.018

ТЕНДЕНЦИИ В РАЗВИТИЕТО НА МОБИЛНИТЕ АНАЛИТИЧНИ СИСТЕМИ

Борислав Димитров

TRENDS IN THE DEVELOPMENT OF MOBILE ANALYTICAL SYSTEMS

Borislav Dimitrov

Резюме: Мобилните лаборатории могат да бъдат интегрирани в мобилни аналитични системи, за да отговорят адекватно на голямото разнообразие от предизвикателства: получаване на проби; детекция, идентификация и оценка на съмнителни неизвестни материали; опазване състоянието на околната среда и възстановяване при нарушаване; анализ на наркотици или потвърждение за наличие на тайна лаборатория. Те следва да могат да реагират при катастрофи, тероризъм и безброй други действия в театрите на въоръжени конфликти или на територията на страната.

Ключови думи: мобилни лаборатории; мобилни аналитични системи; ядрени, химически, биологически и радиологически събития

Abstract: Mobile laboratories can be integrated into mobile analytical systems to adequately respond to a wide variety of challenges: sample acquisition; detection, identification and evaluation of questionable unknown materials; protection of the state of the environment and recovery in case of violation; drug analysis or clandestine laboratory confirmation. They should be able to react to disasters, terrorism and countless other actions in the theaters of armed conflicts or on the territory of the country.

Key words: mobile laboratories; mobile analytical systems; nuclear, chemical, biological and radiological events

На фона на реален въоръжен конфликт в Европа, необходимостта от бързо предоставяне на високонадеждна и приложима информация, свързана с ядрен, химически или биологически (ЯХБ) инцидент, никога не е била по-голяма. Евентуалните бойни полета и безопасността на личния състав и населението ще разчитат на способността да се предоставят непосредствени

анализи на инцидентите, вместо съществуващата практика да се доставят пробите в конвенционална лаборатория на стационарно (фиксирано) място. Необходимостта от способности за предоставянето на информацията по навременен, безопасен и сигурен начин, както и науката и инженерството, свързани с развитието на надеждна мобилна аналитична лаборатория, нарасна драстично. Развитието на военната наука, съчетана с напредъка в информационните технологии, създава предпоставки за сливане на възможности, които да поддържат мобилни анализи в движение. Тази тенденция ще продължи да се проявява, тъй като новите изисквания стимулират иновациите и произтичащите от това технологии напредват.

Така че от гледна точка на ЯХБЗ възниква въпросът защо тогава всяко формиране за ядрено, химическо и биологическо разузнаване да няма собствена мобилна лаборатория? Но има твърде много съображения, които трябва да бъдат оценени преди проектирането, разработването, снабдяването и въвеждането на мобилните лаборатории като част от единна аналитична система. Мобилните системи следва да са част от системата за ранно предупреждаване и докладване и няма да са единствените източници за база от данни, които да са достатъчни за ефективно достигане до аналитично заключение [6, 7, 8].

Пробите не трябва да пристигат на случаен принцип до вратата на лабораторията без придружаваща информация. Независимо дали информацията е била част от мрежа от системи, като автономни детектори, точкови детектори или колектори за проби или от химик-разузнавач с правилно взета проба – информацията ще позволи на мобилната лаборатория да бъдат част от многопластов процес точно както е част от решението. Мобилните лаборатории могат да бъдат интегрирани, за да отговорят на голямо разнообразие от предизвикателства: получаване на проби; детекция, идентификация и оценка на съмнителни неизвестни материали; опазване състоянието на околната среда и възстановяване при нарушаване; анализ на наркотици или потвърждение за наличие на тайна лаборатория. Те следва да могат да реагират при катастрофи, тероризъм и безброй други действия в театрите на въоръжени конфликти или на територията на страната [1, 5].

Мобилната лаборатория може да се разглежда като подвижна платформа оборудвана с набор от аналитична апаратура, която предоставя информация. Докато много традиционни възможности на мобилните лаборатории се фокусират върху една конкретна опасност, възможността за неочаквана заплаха и способността за бързо пренасочване на лабораторните способности към текущата заплаха могат допълнително да предизвикат дизайнера на лабораторията да се занимава с множество заплахи/опасности едновременно. Комуникациите и способността за интегриране на информация от различни източници позволяват на лабораторията да се

превърне в мощен компонент в предварително планирана мрежа от решения за екипите за първа помощ, правоприлагащите органи, войниците от разузнавателните формирования и лабораторните учени.

При разработването на полева аналитична система процесът на проектиране ще следва определена стратегия. Какво се прави например при предприемане на дълго пътуване – използват се най-различни възможности за опаковане (куфари, кутии, модулни кутии, контейнери или мобилни платформи). Внимателното планиране и подготовка на пътуването трябва да се изпълни независимо от представената транспортна стратегия, било то с автомобил, автобус, камион или железопътен превоз по суша, самолет – по въздух или с кораб – по море. Необходимо е да се предвиди всяка възможна ситуация [2, 3, 8].

Пренасочвайки се към полевите лаборатории, има технически бариери, свързани с разглеждането на технологиите на традиционния свят на ЯХБЗ. Съществуват също така неизвестни потенциални заплахи, които не са ясно дефинирани, но възникват чрез враждебни или естествени събития и могат да се представят като асиметрична опасност. Тези трудни за планиране предизвикателства изискват интегриране на прибори, които да се справят с всяка различна ситуация. Инженерните контроли (първични и вторични) стават жизненоважни за събирането, приемането, подготовката и анализа на получените проби. В същото време е необходимо да се помисли за отработените отпадни води и консумативи, които могат да замърсят околната среда. Надеждният инженерен контрол, включващ резервни и хибридни системи за филтриране, монитори и резервно непрекъснато хранене, трябва да е толкова добър, колкото гаранциите за качество, свързани с разработването, изграждането, производството и тестването на такива предпазни мерки. Също толкова важни са процесите и процедурите, свързани с използването от оператора на инженерни контроли. Подходящото обучение и основното разбиране за тяхното използване в рутинната и спешна ситуация трябва да бъдат без недостатъци. Не става дума само за това, което би могло да се случи, ако се допусне изтичане на ТИМ; става дума за основите на аналитичния процес, който включва запазване целостта на пробата, запазване на пробата за по-нататъшен анализ или за архивни нужди, дисциплина в защитата на персонала, смекчаване на кръстосаното замърсяване и основни практики в процеса на аналитичен анализ.

Следва да се отговори на въпроса: как да определим изискванията за необходимите полеви способности, след като осъзнаем, че те са само част от системата от системи? Отговорът е – чрез прецизно дефиниране на нашите изисквания, тъй като те се отнасят пряко до нашата организация и мисия. Използването на възприет консенсус – като ръководството на НАТО STANAG 4632, разгръщаща се аналитична лаборатория за ЯХБЗ, що се

отнася до страните, съюзниците в НАТО – все още оставя без отговор въпроси, които могат да бъдат адресирани само от собственото изискване на потребителя. Къде ще бъдат разположени наличните способности/лаборатории? Ще бъдат ли вътре или извън зоната на потенциално замърсяване? Ако се стигне до замърсяване, как и къде ще бъдат обеззаразени? [4, 7, 9]

Освен това на дневен ред ще са необходими отговори като: продължителност на мисията; набор от умения на операторите и ниво на обучение; сложност на апаратурите и кои конкретни прибори да се използват за всеки конкретен случай и т. н. Списъкът с въпроси продължава и продължава. Когато има толкова много въпросителни и толкова малко конкретни и категорични отговори, модулността на възможностите – които могат да бъдат свързани помежду си и да осигурят възможност за *plug-and-play* (включи и работи) за апаратурите, като по този начин поддържат компонентите и изградената инфраструктура – ще бъде отличен подход. Този подход е възприемчив и към интегрирането на нови технологии, когато стават достъпни, и за отговор на коренно различни задачи на мисията.

Транспортната технология е съображение, свързано с дизайна на мобилната лаборатория. Възможността за модулно адаптиране на нашите възможности, за да отговарят на изискванията и транспортните ситуации, ще позволява да се адаптират към нови стратегии по време или преди внедряването.

Способността за генериране на надеждни данни е абсолютно задължителна в анализа – ако данните не са надеждни, анализът ще бъде погрешен. Необходима е коректна информация и всяка допълнителна информация може да е от значение. Надеждните данни не са непременно неопровержими, по този начин конвенционалната лаборатория на фиксирано място все още дава безспорните отговори. Загадката обаче остава: кои проби трябва да бъдат отнесени към доказателствения стандарт на специализираните лаборатории? Първото правило е, че качеството на данните, разработени в мобилната лаборатория, трябва да е независимо от местоположението на анализа, тъй като нито техническият стандарт, нито нивото на качество трябва да се променят, независимо къде се извършва анализът. Ако има разлика между това, което се прави на място и това, което се прави в лаборатория на фиксирано място, тя трябва да е в обхвата на анализа, а не в качеството на резултатите. Материалите, изискващи по-интензивен анализ, ще се изпращат в специализираните лаборатории за потвърждаване само на пробите, нуждаещи се от окончателен анализ.

Все още е широко разпространено мнението (и може би е вярно), че висококачествен анализ е невъзможен на мястото на ЯХБ събитие и че единственият тип анализ, подходящ за внедряване на място, е детекция и идентификация с ръчни устройства. Осигуряването на качеството е

гръбнакът на всяка лабораторна система и мерките за качество придобиват все по-голямо значение, когато навлизаме в света на полевия анализ.

Повечето прибори, които осигуряват окончателни, защитими резултати, са разработени за лабораторни условия, където се очаква да бъдат използвани в защитена от външни влияния среда. Но не така стои положението с подвижната лабораторна апаратура. Лабораториите, като намиращите се на въоръжение в Българската армия Автолаборатория АЛ-4М (преди нея АЛ-3) са подложени на въздействието на най-суровите среди: прах, дъжд, пясък, екстремни температури, колебания на влажността, вибрации и енергийна нестабилност на храненето – най-често се разполагат на високи и труднодостъпни места. Тези лаборатории са предназначени да анализират най-смъртоносните материали бързо и надеждно. Мерките за качество трябва да започнат с концепцията на дизайна. Изборът на техническото средство трябва да се оценява не само по неговата производителност, но и по неговата надеждност и здравина – въпреки че е удивително как приборите могат да бъдат здрави (с подкрепата на производителя) чрез „стратегии за оцеляване на полето”. Техните уязвимости също трябва да бъдат разбрани и смекчени [1, 6].

Друга област от първостепенно значение е как да се поддържа набор от прибори с необходимите консумативи и консумативи, които трябва да се носят на борда. Точно това е причината, поради която изборът на апаратура трябва да бъде съчетан с логистиката, за да се изпълни не само задачата, която е конкретно поставена, но и задачата, която никога не сме и мислили че е възможно да се изпълнява. Трябва да се проучат всички вероятни пътища, за да се направи транспортът практичен: операторите трябва да могат да използват и съхраняват консумативи – като източниците на енергия, които са най-взискателните консумативи – когато е възможно. При планирането да се сведе до минимум нуждата от газове, буфери и реагенти, както и топлинни натоварвания, екстремни температури на пещта, специфични агрегати, нагреватели и много други компоненти, които поддържат приборите и експерименталните процеси. Ако апаратурите и методите са ясно проучени, много от тези проблеми имат решения, които могат да бъдат включени в интегрирана първокласна аналитична система.

Планирането трябва да бъде от самото начало и да е насочено към „системата”. Случайният избор на прибори и поддържащо оборудване въз основа само на предпочитанията е неприемливо. Мобилните лаборатории не следва да са предназначени да бъдат само изследователски съоръжения, по-скоро те са интегрирана разработка на усъвършенствана (но много по-сложна) „черна кутия”, която ще предоставя отговори за установяване на ситуационна осведоменост, необходима на вземащите решения, за да направят правилен избор. Иновациите ще помагат да се работи все по-безопасно. Практиката за интегриране на аналитичните апаратури директно

в първичните инженерни контроли ще осигурява повишено ниво на безопасност за операторите в лабораториите. Текущата работа в тази конкретна област дава обещание за усъвършенстване на индустриалните практики, които се фокусират върху изолирането на пробата както от зоната на вторичното ограничаване, така и от операторите в лабораторията, докато все още извършват текущия анализ.

Предвидим проблем е, че твърде често потребителите се фокусират върху първоначалните разходи, свързани със закупуването на мобилни лаборатории. Първоначалните инвестиционни разходи обаче се оказват почти незначителни по отношение на дългосрочните разходи за експлоатация, поддръжка, устойчивост и обучение на персонала. Въпреки че финансовите ресурси са от голямо значение, стойността на партньорствата и отношенията за сътрудничество не може да бъде подценена. В разговори с колеги от САЩ се убедих, че тяхното съзнание за потенциалните заплахи е повишено от трагичните събития от 2001 г. и впоследствие са развили култура на готовност, при която да са подготвени, независимо от заплахата. Осъзнаването, че аналитичните прибори ще стават все по-малки, по-бързи, по-леки и по-добри, ще позволява планирането на тези постижения в печеливши стратегии. Добавянето на автоматизация, когато е възможно, драстично ще подобрява пропускателната способност и ще свежда до минимум личната безопасност, да не говорим, че ще предлага финансово предимство, което да натоварва по-малко ресурсите и персонала.

Начинът, по който коалициите, страните и войсковите формирования развиват своите мрежи за реакция, ще се различават в отделните държави, както и усъвършенстването на мобилната аналитична платформа – но тъй като операциите в коалиционен формат стават по-чести, стандартизирането на усилията ще бъде от решаващо значение. Партньорствата позволяват приемане на стандартизирани методологии, протоколи, процедури и обучение. В световен мащаб партньорствата са от ключово значение за превенцията, смекчаването и неутрализирането на рисковите ситуации. Споделените ресурси могат да сведат до минимум логистичните тежести и изискванията спрямо персонала, да запълнят пропуските в данните, да повлияят на положителните комуникации и в крайна сметка да позволят на командирите да вземат навременни оперативни решения въз основа на високонадеждни аналитични данни.

Предимствата, предлагани от извършването на полеви анализи на мястото на разследването, са многобройни, включително опростена верига на съхранение, защита на чувствителна информация и бързо преминаване от вземане на проби до резултати. Подобен ускорен анализ на пробата ще позволява на вземащите решения достъп до информация в реално или почти в реално време, а в днешния свят тази информация е от първостепенно значение за безопасността, сигурността и ефективността на разходите.

Също така е абсолютно необходимо в много различни ситуации, които включват потенциални заплахи за въоръжените сили и населението. В рамките на 21-ви век полевият анализ ще се разглежда не като изключение, а като предпочитан метод за анализ.

Изводи:

1. Изискването за разработване и внедряване на подобрена технология и методология за извършване на аналитични процеси извън пределите на традиционните лаборатории постоянно нараства.

2. Развитието на стратегически съюзи с международни партньори за споделяне и прехвърляне на опит, технологии и бази данни ще ускорят процеса по изграждането на мобилни аналитични системи и ще позволят да се използва науката ефективно като инструмент срещу неизвестни заплахи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Димитров, Б. К. Ядрено и химическо разузнаване при бедствия, аварии и катастрофи, монография. Изд. комплекс на НВУ „Васил Левски”, ВТ, 2018. ISBN 978-954-753-268-7.

2. Долчинков, Н. Т. Действия на населението при извънредни ситуации, монография. Изд. комплекс на НВУ „Васил Левски”, ВТ, 2020. ISBN 978-954-753-306-6.

3. Николов, Н. Х. Прибори и системи за мониторинг, откриване, идентифициране, предупреждение и отчитане на химични, биологични и радиоактивни агенти, Сборник доклади от университетска научна конференция, 27-28 юни 2019, том 5, стр.73 (8 стр.). ISSN 1314-1937.

4. Пъдарев, Н. И. Оценка на риска от възникване на радиационно, химическо или биологично опасно събитие при операции в подкрепа на международният мир и сигурност. Сборник доклади от научна конференция „Актуални проблеми на сигурността”, на НВУ „Васил Левски” – град Велико Търново, том 6, стр. 151-157. Изд. комплекс на НВУ „Васил Левски”, ВТ, 2019.

5. Наредба за условията и реда за функциониране на Националната система за ранно предупреждение и оповестяване на органите на изпълнителната власт и населението при бедствия и за оповестяване при въздушна опасност. Приета с ПМС № 48 от 1 март 2012 г.

6. NATO GLOSSARY OF NBC TERMS AND DEFINITIONS – AAP-21(B),(Речник на НАТО по ядрена, биологическа и химическа защита, AAP-21(B)). 2013 г.

7. NATO – AJP-3.8 – ALLIED JOINT DOCTRINE FOR CHEMICAL, BIOLOGICAL, RADIOLOGICAL, AND NUCLEAR DEFENCE, 2012.

8. NATO – STANAG 4632 – DEPLOYABLE NBC ANALYTICAL LABORATORY, 2005.

9. NATO – STANAG 2352 – CHEMICAL, BIOLOGICAL, RADIOLOGICAL AND NUCLEAR (CBRN) DEFENCE EQUIPMENT – OPERATIONAL GUIDELINES (ОБОРУДВАНЕ ЗА ОТБРАНА СРЕЩУ ХИМИЧЕСКО, БИОЛОГИЧЕСКО, РАДИОЛОГИЧНО И ЯДРЕНО ОРЪЖИЕ – ОПЕРАТИВНО РЪКОВОДСТВО)

Адрес за кореспонденция:

Борислав Косев Димитров

доцент, доктор

НВУ „Васил Левски”

катедра „Защита на населението и инфраструктурата”

E-mail: borisslav_nvui@abv.bg

DOI: 10.34660/INF.2023.13.75.019

ИЗПОЛЗВАНЕ НА НЕУТРОНИ И РАДИОИЗОТОПИ В МЕДИЦИНСКАТА ДИАГНОСТИКА И ЛЕЧЕНИЕ

Мария Нешева

USE OF NEUTRONS AND RADIOISOTOPES IN MEDICAL DIAGNOSIS AND TREATMENT

Maria Nesheva

Abstract: The main neutrons and radioisotopes used for medical diagnosis and treatment are presented. The main devices used for these purposes are also described.

Key words: neutron, radioisotope, diagnosis, treatment

Увод:

Ядрената технология е от голямо значение за производството на електроенергия и за широка гама от научно изследователски, промишлени и медицински приложения [1, 9, 13].

Ядрената медицина, която представлява важна част от медицинските приложения на йонизиращите лъчения, претърпява огромно развитие през последните десетилетия. Тя предоставя нови методи за медицинска диагностика и лечение на множество важни болести, включително на някои от най-сериозните и чести заболявания като рак, сърдечно-съдови и мозъчни заболявания [2, 11].

Използването на йонизиращите лъчения в медицината за диагностика и лечение започва преди повече от сто години. На 8 ноември 1895 г. германският физик Вилхелм Рънтген открива неизвестно до тогава лъчение и неговото свойство да преминава през тялото, като отслабва в не еднаква степен в различни тъкани и формира образа им върху флуоресциращ екран или фотографска плака. Рънтген предоставя безвъзмездното откритие на човечеството, отказвайки се дори и да го патентова. Веднага след откриването им рентгеновите лъчи са използвани за визуализиране на структурите в човешкото тяло [3, 8]. Първата рентгенова снимка на дясната ръка на професора по анатомия Кьоликер е направена от самия Рънтген през 1896 г. На 13 януари 1896 г. в Бирмингам двама лекари откриват с рентгенова снимкана ръката на жена попадналата в нея игла, която на другия ден е отстранена оперативно. Така е поставено началото на рентгеновата

диагностика – най-стария и най-широко използвания метод за образна диагностика. Много след това започват и опитите на лекарите да използват рентгеновите лъчи и за третиране на някои неличими за времето си заболявания – рак и туберкулоза [4, 14]. Твърди се, че първото лъчение е направено от Грюбе през януари 1896 г.

Развитието на модерната радионуклидна диагностика започва през 40-те години на миналия век и е свързано със създаването на ядрените реактори и ускорители. Днес рентгеновата и радионуклидната диагностика, както и лъчението, са направления в съвременната медицина с огромно значение.

Същинска част:

Основа на рентгеновата диагностика е силната зависимост на общия коефициент на отслабване μ на биологичните тъкани за рентгеновите лъчи. Изследваната част на тялото се пролъчва с рентгеново лъчение с енергия между 20 и 140 keV, което при преминаването си през тъканите намалява своя интензитет (отслабва). Отслабването е по експоненциален закон и освен от μ , зависи от дебелината d на структурите.

Стойностите на μ са най-големи за костите, многократно по-малки за меките тъкани и най-малки за въздушните кухини. Затова интензитета на рентгеновите лъчи, преминали през костни структури е най-малък, а зад въздушните кухини – най-голям. Разликата между стойностите на μ за тези тъкани е по-голяма при ниски енергии на фотоните. Това определя по-големия контраст на рентгеновия образ при по-ниски енергии на фотоните, получава се обаче за сметка на по-голяма погълната доза от тъканите, т.е. на по-голямо лъчево натоварване на пациентите. Преминалите през тъканите рентгенови лъчи, които не претърпяват взаимодействие с тях, формират невидим лъчев образ, който се преобразува във видим, чрез равнинен детектор, наричан преобразувател на образа. В зависимост от преобразувателя, конвенционалната рентгенова диагностика се дели на рентгенография и рентгеноскопия. Рентгенографичният образ е стационарен (рентгенова снимка), а рентгеноскопичният дава възможност за динамично изследване на процеси и паталогични изменения в органите [4, 7].

При рентгеновата графия, преобразувателят е рентгенов филм и образът представлява разпределението в равнината на филма на неговата оптична плътност (почерняването): най-светли са костите, по-тъмни са меките тъкани и най-тъмни са белите дробове, това е т.нар. негативен образ. Поради малката ефективност на филмите за рентгеновите лъчи, те се експонират в „сандвич“ между два слоя с луминофор, т.нар. усилващи фолии, които преобразуват рентгеновите лъчи във видима светлина, към която филмите имат много по-голяма чувствителност [5, 8].

Използването на тези филм-фолийни комбинации намалява многократно облъчването на пациента. През последните години

рентгеновият филм се замества от дигитален детектор. Използват се радиофотолуминисцентни детектори (компютърна рентгенография) и плоски панелни детектори (директна дигитална графия).

При рентгеновата скопия образът се получава върху флуоресциращ екран, като яркостта на екрана е най-голяма зад белите дробове, по-малка зад меките тъкани и най-малка зад костите. За увеличаване на яркостта, в модерните рентгенови скопични уредби, образът се усилва чрез електронно-оптичен пробразувател (ЕОП), след което чрез телевизионна система се наблюдава върху екрана на монитор. Вместо ЕОП, най-новите уредби използват плоски панелни дигитални детектори с директно или с индиректно преобразуване [6, 12].

Трето направление на рентгеновата диагностика е компютърната томография (КТ), при която детайлен образ в трансверзален срез на тялото се получава с помощта на компютър, който обработва голям масив на данни (числени стойности) за интензитета на преминалото през тъканите рентгеново лъчение. За получаване на пълна информация за изследвания орган е необходимо да се получи образа в множество трансверзални срезове. Съвременните компютърни томографи са многосрезови. При тях се скенира едновременно широка област от тъкани и се получават за кратко време образите на до 256 среза, от които може да се реконструират тримерен образ.

Според целта, рентгеновите изследвания са: диагностични – за потвърждаване или отхвърляне на хипотеза за определено заболяване, за проследяване на развитието на вече доказано заболяване и на резултата от неговото лечение; профилактични (скрининг) – за ранно откриване на социално значими заболявания, като рак на млечната жлеза, туберкулоза и др.; интервентни – за визуализация на терапевтични процедури в кардиологията, ортопедията, ендоскопията, екстра-корпоралната литотрипсия и др. Интервентната рентгенология навлиза все по-широко в диагностиката и лечението на редица сърдечно-съдови, неврологични и други тежки заболявания.

Друга област на рентгенологията е остеоденситометрията – определяне на плътността на костите чрез пролъчване с рентгенови лъчи. Този метод дава обективна информация за съдържанието на минералната компонента в състава на костите (хидроксиапатита) – мярка за техните механични свойства [3, 10].

Радионуклидната, наричана още нуклеарно-медицинска диагностика, е метод, при който се използват открити източници на йонизиращи лъчения, наричани радиофармацевтици. Това са химични съединения, в които един от химичните елементи участва със свой радиоактивен изотоп. Радионуклидната диагностика обхваща две големи групи методи – *in vivo* и *in vitro*.

При *in vivo* методите, радиофармацевтикът се въвежда в тялото на пациента интравенозно, перорално или инхалационно. В класическата *in vivo* радионуклидна диагностика се използват гама-радионуклиди, а в най новата модификация на метода – позитронно-емисионната томография (ПЕТ), бета-плюс (позитронни) радионуклиди. Това са изкуствени радионуклиди, получавани в ядрените реактори и в ускорителите. Радиофармацевтикът се натрупва избирателно в тъканите на изследвания орган или система или в паталогични изменения в тях. Неговият избор се определя от диагностицирания орган или система, както и от изследваното паталогично изменение в тях. Гама-лъчението, излъчвано от радиофармацевтика, съответно анихилационното лъчение при ПЕТ, се регистрират със сцинтилационни детектиращи системи.

Радионуклидните при *in vivo* изследванията биват функционални и топографски. При функционалните изследвания диагностичната информация се получава чрез скоростта и степента на натрупване на радиофармацевтика или чрез скоростта на неговото отделяне от организма, а при топографските – чрез разпределението му в изследваните органи и системи. Тази информация се представя в равнинен образ, наричан сцинтиграма. При *in vivo* изследванията се използват радиофармацевтици с малък период на полуразпадане (^{99m}Tc , ^{131}I , ^{201}Tl , ^{18}F и др.). Фаворит между радионуклеидите е ^{99m}Tc , защото той е „чист“ гама-излъчвател. *In vivo* радионуклидната диагностика се прилага за изследване на практически всички органи и системи – сърце, бял дроб, мозък, бъбреци, щитовидна жлеза, черен дроб, кости. Тя е водеща при диагностицирането на редица онкологични заболявания, както и при ранното откриване на метастази в костите [2, 3].

Техническите средства за *in vivo* радионуклиновата диагностика се създават през втората половина на миналия век и днес най-широко използвани са уредбите еднофотонно-емисионен компютър томограф (СПЕКТ) и ПЕТ. Уредбите СПЕКТ, наричани кратко гама-спектри, са въведени в практиката през 1966 г., но модерният им вариант е много различен от първоначалния. Усъвършенствани са всички компоненти, като не променен е само детекторът – и сега той е сцинтилационен кристал от $\text{NaI}(\text{Tl})$. СПЕКТ гама-камерата е аналог на КТ. Детектиращата система може да се върти на 1800 или 3600 около тялото на пациента, при което прави 64, съответно 128 измервания на интензитета на гама-лъчението, излъчвано от малки обеми от изследвания орган. „Разпознаването“ от детектиращата система на фотоните, емитирани от отделни малки обеми тъкани (т.нар. воксели) се постига с помощта на колиматири. Данните от измерванията постъпват в компютъра за формиране на образа, което се прави по същия математичен алгоритъм като при КТ. Някои технически модификации на СПЕКТ гама-камерите имат две или три детектиращи системи с голяма

площ, разположени неподвижно около тялото на пациента. Диагностичният процес при тези уредбие по-бърз, а по-голямата ефективност за регистриране позволява използването на радиофармацевтици с по-малка активност. Голямият брой сцинтиграми в секунда (10 до 20) право СПЕКТ гама-камерите много информативни при изследвания на бързи процеси. Това се използва, например, за функционални изследвания на сърдечната дейност.

Принципът на работа на ПЕТ е следния: голям брой сцинтилационни детектори са наредени по цилиндрична повърхност, по чиято ос се разполага изследвания пациент. Излъчваните от радиофармацевтика позитрони анихилират при среща със свободни електрони от тъканите и в резултат се раждат два фотона анхилационно лъчение с енергия 511 keV. Срещуположните двойки детектори са свързани в схема на съвпадение и регистрират само фотоните, родени едновременно, поради което отпада необходимостта от колимираща система. Това позволява използването на радиофармацевтици със значително по-малка активност (до десет пъти), т.е. при по-малко лъчево натоварване на пациента. Друго предимство на ПЕТ пред СПЕКТ гама-камерите е, че се използват радионуклиди от химични елементи с голямо и важно участие в строежа на биологичните тъкани и във физиологичните процеси – въглерод, азот, кислород; към тези елементи се причислява и флуорът, който може да замества кислорода във важни биологични молекули, без да променя забележимо техните свойства и функции. Нуждата за науката и медицинската практика от неинвазивни методи за определяне на важни физиологични параметри компенсират усложненията при използването на ПЕТ, на първо място високата цена на изследванията [1, 5].

Във функционалната диагностика ПЕТ дава точна количествена информация за физиологичните процеси перфузия и метаболизъм. ПЕТ е фаворит в образната диагностика за ранно откриване на рака. Методът предоставя на науката и големи възможности за изучаване на функциите на мозъка.

При *in vitro* методът радионуклидните, наричани още радиоимунологични изследвания, радиофармацевтикът се включва в биологичен субстракт от пациента – кръвна плазма, серум, урина, стомашен сок и др. Въпреки, че тези изследвания са само функционални, те заемат значително място в радионуклидната диагностика. Това се дължи на тяхната висока чувствителност за определяне на концентрацията на хормони, ензими, протеини, вируси, антитела, както и на липса на лъчево натоварване на изследваните пациенти.

Лъчелечението (радиотерапията), т.е. лечението с йонизиращи лъчения, е един от трите основни терапевтични методи в онкологията. То се прилага самостоятелно или в комбинация с другите два метода –

оперативният (хирургичният) и лекарственият (имиотерапията). Във втория случай лечението се нарича комплексно. Такова е например лечението на болестта на Хочкин (лимфогрануломатоза), което по една от прилаганите схеми започва с оперативно отстраняване на далака и продължава с лъчелечение и химиотерапия. Съчетано лъчелечение е използвано при един и същ болен на два и повече метода за лечение с йонизиращи лъчения. Съчетано е лъчелечението например на рака на шийката на матката, при което се прилагат последователно вътрекухинната брахитерапия и дистанционното облъчване. В развитите страни лъчелечението обхваща около 50% от онкологично болните [5, 14].

Радиобиологична основа на лъчелечението е повишената чувствителност на раковите клетки към йонизиращите лъчения (лъчечувствителността). Тези клетки са не зрели и затова са по-чувствителни към въздействието на различни физични фактори в сравнение с нормалните.

Някои хистологични видове ракови клетки, обаче, са нечувствителни към йонизиращи лъчения (т.е. те са лъчерезистентни) и не подлежат на лъчелечение. Най-общо облъчването с йонизиращи лъчения е неблагоприятно за всички биологични тъкани. Тези лъчения предизвикват забавяне на клетъчното делене, а при по-голяма погълната доза – загуба на способността за делене, т.е. смърт на клетките. Затова лъчелечението е нож с две остриета – заедно със злокачественото новообразуване неизбежно се облъчват и здрави тъкани и нормалните клетки в тях също се увреждат. За ограничаване на това увреждане до приемлива степен са въведени опитно установени ограничения на облъчването за различните органи, наричани толерантни дози. Стойностите на толерантните дози са по-малки от т.нар. терапевтична доза, която е в границите 40-70 Gy. Толерантната доза е най-малка за очите, а най-голяма за костите. Не трябва да се забравя, че облъчването е локално в определен обем тъкани. То се прави фракционирано (на порции), което улеснява възстановяването на облъчените здрави тъкани.

Задачата на лъчелечението е постигането на контрол върху новообразуването, което означава:

- намаляване на неговия обем в резултат на унищожаване на най-лъчечувствителните клетки;
- образуване на тъкани, които капсулират раковите;
- влошаване на кръвоснабдяването „храненето“ на раковите клетки;
- унищожаване на новообразуването и заместването му със съединителна тъкан.

Идеалната цел на контрола върху новообразуването е неговото пълно унищожаване. Решаването на останалите три компоненти на задачата е частичен успех на лъчелечението, който също има своето голямо значение за пациента. То може да доведе до удължаване на живота или на „светлата

част“ от него, до спиране на кръвотечение и намаляване на болките и пр. Приема се, че пациентът е излекуван радикално, ако преживее без рецидив на заболяването десет години, след края на лъчелечението. Процентът на радикално излекуваните онкологично болни варира в широки граници за различните локализации на рака. Той зависи от стадия и хистологичния вид на новообразуванието, от общото състояние на организма и възрастта на пациента, от приложените методи за лечение и от редица други фактори. Много силна е зависимостта от стадия на заболяването, който се определя от размера на тумора, ангажираността от болестния процес на лимфните възли и от метастазите. Процентът на радикално излекуваните болни е най-висок за рака на кожата – близо 100 % за базоцелуларните карциноми при всички локализации.

Лъчелечението се провежда по индивидуален план за всеки болен. Дозиметричното планиране, т.е. изработването на индивидуалните планове за лъчелечение, има задача да осигури адекватно хомогенно облъчване на терапевтичния обем, при минимално облъчване на здравите тъкани, задължително по малко от толерантните дози.

Лъчелечебните планове съдържат цялата информация, необходима за изпълнение на лъчелечението и за контрол на облъчването на здравите тъкани. Днес те се изработват от компютърни системи със специфични периферни устройства и програмни пакети за дозиметрично планиране. Компютърните планиращи системи са свързани с уредбите за образна диагностика – КТ, магнитно-резонансен томограф (MRI), от които постъпва необходимата анатомопографска информация за отделния пациент. Дозиметричното планиране е тримерно, с голяма точност и осигурява добри възможности за възпроизвеждане на геометричните условия на облъчване.

Комплектът компютърна планираща система-уредба за образна диагностика улеснява въвеждането на важни корекции за отчитане влиянието върху разпределението на дозата в облъчваното тяло на различни фактори. Всичко това е предпоставка за подобряване на терапевтичните резултати и за намаляване на риска от лъчеви усложнения и увреждания на пациентите.

Рентгеновите лъчи са били основният вид йонизиращо лъчение, използвано в онкологията до средата на миналия век. Днес в лъчелечението основно се употребяват две групи йонизиращи лъчения – фотони и заредени частици.

Представители на първата група са рентгеновите, гама- и X-лъчите, а на втората – бета-лъчите, ускорените електрони, протоните, пи-мезоните. Бета- и гама-лъчите се получават от радиоактивни източници, а X-лъчите и електроните с висока енергия – от медицинските ускорители. Източници на протоните и пимезоните са ускорителит. Рентгеновите лъчи остават предпочитани за лъчелечение на кожни лезии с малки размери. Поради

различни причин, главно финансови, протоните и пи-мезоните не са навлезли рутинно в лъчелечението.

Основният вид лъчелечение е дистанционното (перкутанното). При него източникът на йонизиращо лъчение се намира на значително разстояние от кожата на пациента. Дистанционното облъчване обхваща приблизително 90% от болните, подлежащи на лъчелечение. Йонизиращите лъчения проникват през кожата в тъканите и в зависимост от тяхната енергия причиняват йонизация и възбуждане на атомите. Рутинно се използват фотонни лъчения с енергия от 60 keV до 25 MeV, като рентгенови и гама лъчи, както и електронни. Все още не е навлязло в ежедневната практика облъчване с протони, неутрони, леки и тежки ядра на хелий, въглерод, фосфор, силиций и др.

Вторият вид лъчелечение е брахитерапията, която има своето място, както самостоятелно, така и като компонента на съчетаното лъчелечение. Брахитерапията е лъчелечение със закрити и с открити радиоактивни източници от малко разстояние, при което източниците се разполагат в или непосредствено до лекуваните тъкани. Тя е няколко вида:

- контактна – прави се със закрити радиоактивни източници, които се разполагат непосредствено или на малко разстояние от кожата. Пример за приложение е рака на кожата;

- вътрекухинна (интракавитарна) – използват се също закрити радиоактивни източници, които се въвеждат в телесни кухини. Пример за това е лъчелечение на рака на шийката на матката;

- вътретъканна (интерстициална) – без алтернативен метод за лъчелечение например на рака на езика, при който закритите радиоактивни източници се въвеждат в лекуваните тъкани;

- метаболитна (кюриотерапия) – това е лъчелечение, при което радиоактивните източници се поставят близо до или в контакт със самия тумор. Използват се открити или закрити радиоактивни източници. Радиоактивните източници се аплицират чрез разнообразни хирургични и парентерални методи. Пациентът става източник на лъчение и остава за определено време в специални помещения;

Радиоактивното вещество в закрития радиоактивен източник е опаковано по начин, който при нормална работа с източника изключва възможността за неговото разпространяване в околната среда, вкл. в лекуваните тъкани. Опаковката радиоактивното вещество има задача и да поглъща нискоенергийното гама- и характеристичното рентгеново лъчение и бета-частиците, излъчвани от радиоактивното вещество. Затова източниците, съдържащи β , γ – радионуклиди, например кобалт-60, са практически чисти γ -излъчватели. Метаболитната брахитерапия принадлежи и на нуклеарната медицина, включваща и радионуклидната диагностика. Въведените в тялото на пациента радиофармацевтици се

включват в метаболизма и се натрупват избирателно в определени органи или тъкани. Например радиофармацевтикът натриев йодид (NaI^{131}I), като всички химични съединения на йода, се натрупва в щитовидната жлеза (т.е. е тиреотропен). Метаболитната брахитерапия е безалтернативна за консервативно лечение на рака на щитовидната жлеза и по-широко използвана – при метастази в костите [3, 7].

Лъчелечението се прилага главно за лечение на рака. Облъчване с йонизиращи лъчения на доброкачествени тумори и при други неонкологични заболявания се прави рядко и по правило с ниски дози.

Съществуват редица уреди за лъчелечение.

Сред най-разпространените, това е линейният ускорител. В него рентгеновото лъчение се създава по следния начин:

- електроните с помощта на електромагнитно поле с висока честота се „впръскат“ и ускоряват в тръбата на ускорителя. Снопът от електрони се насочва към мишена. В резултат на взаимодействието на електрона с атомното ядро на мишената се образува фотон, а електронът се отразява от нея, но с по-малка енергия. Снопът от фотони (рентгеново лъчение) преминава през изравняващ филтър, а лъчът приема необходима форма с помощта на колиматор до попадане върху тялото на болния.



Фиг. 1. Линейен ускорител

В лъчевата терапия, освен стандартните уреди се използват блокове и болюси.

Блоковете са предметите, които се разполагат между източника на излъчване и пациента с цел да се ограничи полето на лъчево въздействие и съответното предаване на необходима форма на облъчващия сноп. Използването на блокове помага максимално да се избегне облъчването на нормалната тъкан на организма на пациента. Отначало се локализира областта на въздействие с помощта на рентгенография. Лекарят-радиолог отбелязва

на снимките участъците, които трябва да се изключат от облъчване. Снимката става шаблон за пенопластен щит, с отделни празнини, които трябва да бъдат запълнени с Cerrobend, който е лекотопяща сплав на бисмут, олово и кадмий. След охлаждане на блоковете от Cerrobend се извеждат от пено-пласта и се закрепят върху прозрачен държател като се надписва името на болния и правилата за ориентировка. Блоковете се съхраняват в процедурния кабинет.



Фиг. 2. Уредба за средно енергийно ренгеново лъчение на костни метастази

Функцията на модификаторите на лъча се отличава от функциите на блоковете и се състои в изменение на формата на полето на облъчване, изключване на нормалната тъкан и като резултат се получава голяма еднородност на дозата в зоната на лечение. Като такива устройства са болюсите, клиновидните и компенсирани филтри.



Фиг. 3. Апарат за дистанционно посленатоварване

Болюсът се състои от вещество, еквивалентно на тъканта на организма и се разполага непосредствено върху повърхността на тялото. В резултат дозата в кожата се увеличава, а също и в другите повърхностни структури непосредствено под тях. Техниката на болюса се използва и за изравняване на неравностите на повърхността на тялото, а тогава дозата се разпределя по-равномерно. За изготвянето на болюс се използват пластини от пластични полимери, парафин и влажна марля. С помощта на клиновиден филтър може да се достигне изменение на формата на разпределение на дозата в тъканта в зависимост от ъгъла на клина. Обикновено се използват

филтри с ъгли 15° , 30° , 45° и 60° , също и други ъгли. Клиновидните филтри често се използват при облъчване на силно огъната повърхност, например, в горните дялове на гръдния кош. Клинът се ориентира така, че най-дебелата му част (петата) да се разположи над най-тънкия слой от тъканта. Компенсиращите филтри от алуминий, восък, мед се разполагат на пътя на лъчите за компенсиране на неравностите на контурите на тъканта.

Изводи:

Предимствата на лъчелечението са, че в ранен стадий лъчелечението е по-ефикасен метод от хирургията, защото запазва лекувания орган. Вече не се практикува премахване на големи части от човешкото тяло или отстраняване на важни органи, без които животът е невъзможен. Прилага се лъчелечение преди операцията, когато туморът е по-голям – радиацията го намалява чрез лъчелечение или в комбинация с лекарства.

Лъчелечението облекчава болката, спира кървенето и намалява оплакванията причинени от тумора.

Изброените предимства на лъчелечението показват, че ползата от него многократно надминават рисковете.

Част от недостатъците на лъчелечението са много странични ефекти, които предизвиква като: умора, дразнене на кожата, леко изгаряне и پوستите такива като: гадене и повръщане, възпаление на устата, чревен дискомфорт, отоци, епилация и др.

Въпреки цялостното разбиране на лъчелечението и използването на различни радиоизотопи трябва да се отбележи, че благодарение на това откритие на човечеството са се запазили и излекували много човешки животи. Понякога временното неразположение е ключът към запазването на съществуването.

Използвана литература:

1. Основи на нуклеарната медицина. Под ред. на И. Костадинова. София, Медицина и физкултура, 2006.
2. Тодоров В. Медицинска физика. Учебник за студенти по медицина и стоматология. Второ, преработено издание. София, 2002.
3. Триндев П. Апаратура в нуклеарната медицина – поглед отвътре. София, 2008.
4. www.wikipedia.org
5. www.pomagalo.com
6. Национален център по радиобиология и радиационна защита <http://www.ncrrp.org/>
7. Димитров, Б. К. Ядрено и химическо разузнаване при бедствия, аварии и катастрофи, монография. Изд. комплекс на НВУ „Васил Левски”, ВТ, 2018. ISBN 978-954-753-268-7.

8. Долчинков, Н. Т. Действия на населението при извънредни ситуации, монография. Изд. комплекс на НВУ „Васил Левски”, ВТ, 2020. ISBN 978-954-753-306-6.

9. Николов, Н. Х. Прибори и системи за мониторинг, откриване, идентифициране, предупреждение и отчитане на химични, биологични и радиоактивни агенти, Сборник доклади от университетска научна конференция, 27-28 юни 2019, том 5, стр.73 (8 стр.). ISSN 1314-1937.

10. Пъдарев, Н. И. Оценка на риска от възникване на радиационно, химическо или биологично опасно събитие при операции в подкрепа на международният мир и сигурност. Сборник доклади от научна конференция „Актуални проблеми на сигурността”, на НВУ „Васил Левски” – град Велико Търново, том 6, стр. 151-157. Изд. комплекс на НВУ „Васил Левски”, ВТ, 2019.

11. Dolchinkov, N., B. Karaivanova-Dolchinkova, Radiation effect on human and living nature. International scientific journal: Science. Business. Society 5. 2016. стр. 59-61.

12. Dolchinkov N. T., Characteristics of radiation and sources of radiation as a result of human activity, International scientific journal: Industry 4.0 Issue 6, 2/2017, december 2017, стр. 279-283, ISBN 2535-0153

13. Dobrev, L., Nonova, T. Determination of uranium content in ammonium uranyl carbonate (AUC) and triuranium octoxide (U₃O₈). J Radioanal Nucl Chem 326, 1543–1550 (2020). <https://doi.org/10.1007/s10967-020-07471-4>, Electronic ISSN 1588-2780, Print ISSN 0236-5731

14. Долчинков Н. Т., Н. Озерова, Влияние на тежките метали върху околната среда, Сборник доклади от научна конференция „Радиационната безопасност в съвременния свят“, НВУ „В. Левски“- гр. В. Търново – 22 ноември 2019 г ISBN 2603-4689

Адрес за кореспонденция:

Мария Бонова Нешева, студент, НВУ „Васил Левски”

катедра „Защита на населението и инфраструктурата”

E-mail: Mn_bonova@abv.bg

DOI: 10.34660/INF.2023.60.14.020

СЪВРЕМЕННО СЪСТОЯНИЕ НА ДОЗИМЕТРИЧНИЯ КОНТРОЛ И ОСНОВНИ ТИПОВЕ ПРИБОРИ

Ивета Белберова

CURRENT STATUS OF DOSEMETRIC CONTROL AND MAIN TYPES OF INSTRUMENTS

Iveta Belberova

Abstract: Basic methods and tools for grinding the natural and artificial radiation background are considered. The main types of measuring instruments and their devices, principle of operation and application are presented.

Key words: instrument, device, application, dosimetry, radioactive background, radiation

1. Увод

Свойството на лъченията да йонизират средата, методите и средствата за тяхното определяне, както и оценката на тяхното въздействие върху живата и неживата материя, се изучават от науката дозиметрия.

Основните методи за индикация на йонизиращите лъчения са: йонизационен, радиотермолуминисцентен, радиофотолуминисцентен, химически и фотографски. Всички тези методи измерват погълнатата доза в дадено вещество. Методите за измерване мощността на дозата са: йонизационен, полупроводников и сцинтилационен [1, 5, 10].

2. Методи за измерване на дозата

2.1 Йонизационен метод – под действие на йонизиращото лъчение се получават йони, които в електрично поле се движат насочено, като се неутрализират и се намалява напрежението между електродите. Това намаляване е пропорционално на погълнатата доза.

2.2 Химически метод – основан е на възникването на йони и радикали във веществото, които встъпват в реакции с други молекули. Образуването на нови вещества е количествена характеристика на йонизиращите лъчения.

2.3 Радиотермолуминисцентен (РТЛ) метод – натрупаната енергия в термолуминофора е свързана с преходи на електрони от валентната в забранената зона под действие на йонизиращите лъчения. Нивата са

метастабилни и при загряване на луминофора, електроните преминават в проводимата зона и се връщат във валентната, излъчвайки определена светлина. Интензивността на светене е пропорционална на дозата.

2.4 Радиофотолуминисцентен (РФЛ) метод – преходът на електроните в метастабилните нива под действие на йонизиращите лъчения е същият като при РТЛ, но преходът в забранената зона е под действие на ултравиолетова светлина.

2.5 Фотографски метод – във фоточувствителен слой се получава атомно сребро, след поглъщане на електрон, възникнал при взаимодействие на гама лъчение с веществото. Концентрацията на сребърните атоми определя степен на почерняване, която е пропорционална на дозата [2, 3].

3. Дозиметричен контрол

Дозиметричният контрол се осъществява от дозиметрични прибори, които измерват качеството и количеството на нивото на радиация. Детекторите на йонизиращи лъчения представляват устройство, инструмент или система за директно или индиректно измерване или оценка на величините експозиция, керма, погълната доза (доза) или еквивалентна доза, на техните мощности, както и на свързани с тях величини, описващи йонизиращите лъчения. Дозиметър, в комплект с допълнителните блокове за регистриране, обработване и представяне на сигналите от дозиметричния детектор, се нарича дозиметрична (радиометрична) система. Дозиметричните прибори биват два вида: индикатори на радиоактивност (рентгенометри – за измерване мощността на експозицията и радиометри – за измерване степента на радиоактивно замърсяване на определено разстояние от повърхността); дозиметри – прибори за измерване на индивидуалното замърсяване у хората, които са прекарвали време в замърсена зона, например ИД-1 [1, 4, 7, 11].

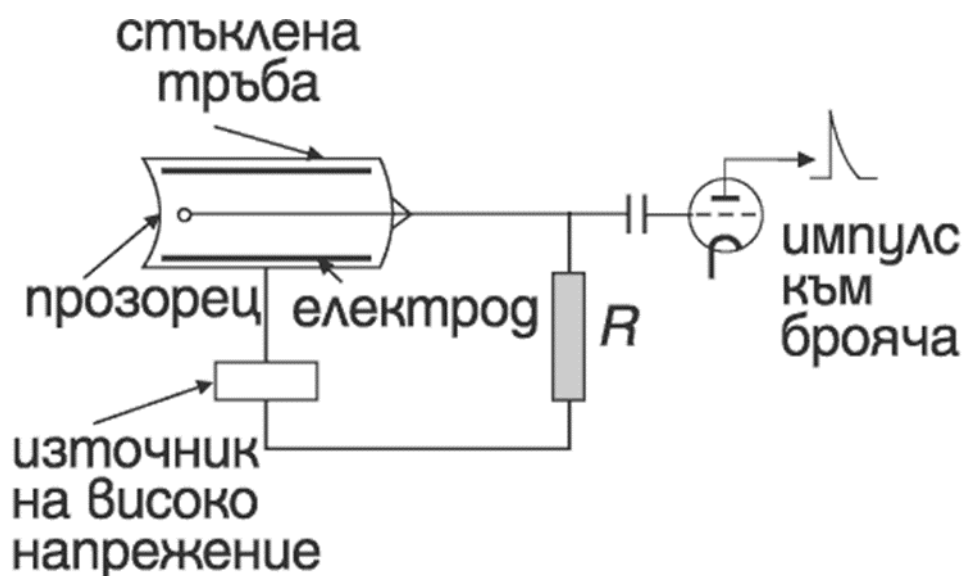
3.1 Рентгенометър-радиометър РР-51М е преднзначен за измерване нивото на радиацията на местност и степента на радиоактивно замърсяване на вода, повърхности и различни предмети. В полеви условия той дава възможност за откриване и качествена оценка на повърхностното бета-замърсяване на различни обекти по гама метода. Диапазоните за измерване на прибора са от 0,02mR/h до 200 R/h.

Детекторите на гама и бета лъченията представляват Гайгер-Мюлерови броячи тип СТС-5 и СИ-ЗГБ. Захранват се с високо напрежение от преобразувателя на напрежение. При попадане на гама-кванти или бета частици в обема на брояча възниква електрически импулс. Емитираният пвтворител повтаря по големина и усилва по мощност електрическите импулси и ги подава на нормализатора. Той превръща всички импулси в импулс с определена продължителност и амплитуда. Интеграторът осреднява броя на импулсите за определено време. Зарядът на

интегриращия кондензатор е пропорционален на средната стойност на броя на импулсите. Микроамперът, който е включен като волтметър измерва заряда на интегриращия кондензатор, от там и средния брой на импулсите. Преобразувателят на напрежение превръща ниското напрежение 3V в напрежение 12V за захранване на нормализатора и 400V за захранване на броячите.

3.2 Гайгер-Мюлеров брояч. Принципът му на действие се основава на възникване на самостоятелен газов разряд при попадане на йонизираща частица в работния му обем. Броячът е изработен през 1908 г. от Х. Гайгер и Е. Ръдърфорд, но по-късно е усъвършенстван от Х. Гайгер и В. Мюлер. Тези броячи се изработват във формата на цилиндър, като най-често корпусът им, който служи за катод, е стъклен, покрит е отвътре с подходящ, проводящ материал – мед, графит, волфрам или е метален от мед, алуминий или неръждаема стомана [3, 8].

Датчикът детекторът му се нарича Гайгер-Мюлерова тръба. Представлява газоразрядна лампа с 2 електрода, пълна с газ с ниско налягане (значително по-ниско от атмосферното). При преминаване на частица или лъч през него, за момент протича електрически ток. Чрез електронен усилвател сигналът се усилва и се изобразява като измерима величина или като звук - едно цъкване (щракване) за всяка частица.



Фиг. 1. Устройство на Гайгер-Мюлеров брояч

3.3 Йонизационни камери – представляват кондензатори (най-често цилиндрични или плоски), между електродите на които има газ и се прилага някакво напрежение U . Последователно на камерата и на източника на напрежение е включен достатъчно чувствителен уред за измерване

силата на тока. Когато няма радиоактивен препарат, газът се явява като изолатор и стрелката на уреда не се отклонява. При наличие на радиоактивен препарат газът се йонизира и се получават голям брой електрически товари, които обуславят протичането на ток през уреда. Този ток е пропорционален на товарите, чийто брой зависи от активността на препарата [2, 5, 9].

4. Сцинтилационни детектори

Сцинтилационните детектори се състоят от вещество (сцинтилатор), което преобразува енергията на ядреното лъчение в светлина и от преобразувател на светлинната енергия в електричен сигнал – фотоелектронен умножител (ФЕУ). Енергията на сцинтилацията е пропорционална на енергията на йонизиращата частица, а амплитудата на електричния сигнал е пропорционална на количеството светлина, попаднало върху фотокатода на ФЕУ.

При преминаване на йонизираща частица през сцинтилатора тя възбужда и йонизира неговите атоми и молекули. След определено време възбудените частици се връщат в основно състояние, а образуваните йони рекомбинират. В повечето вещества излучените при тези процеси светлинни кванти се поглъщат във веществото и енергията им се превръща в топлина.

4.1 Характеристики на сцинтилаторите

- Конверсионна ефективност – отношението на енергията на излъчените фотони и енергията, отдадена от йонизиращата частица в сцинтилатора. Колкото е по-висока стойността на този параметър, толкова по-нискоенергетични лъчения регистрира сцинтилаторът.

- Светлинен добив – отношението на излъчената извън сцинтилатора светлинна енергия и енергията, отдадена от йонизиращата частица на сцинтилатора. Тази величина характеризира прозрачността на сцинтилатора за собственото му светлинно излъчване и зависи от еднородността, наличието на примеси, гладкостта на повърхността му и др.

- Спектрална функция – характеризира зависимостта на интензивността на светлинното излъчване от дължината на вълната. Същата притежава максимум при определена дължина на вълната. За получаване на максимална чувствителност на детектора е необходимо спектралните функции на сцинтилатора и спектралната функция на поглъщане на фотокатода да съвпадат.

- Времеконстанта на сцинтилацията – времето от началото на светването до намаляване на интензивността на светлинния поток спрямо максималния е-пъти [1, 4].

4.2 Видове сцинтилатори

Сцинтилаторите се класифицират в зависимост от агрегатното им състояние като твърди, течни и газообразни. Твърдите сцинтилатори са

неорганични и органични. Неорганични сцинтилатори са кристалите на цинковия сулфид, кадмиевия сулфид, натриевия йодид и цезиевия йодид. Към тях се добавят малки количества вещества (активатори) за повишаване на конверсионната им ефективност.

Течните сцинтилатори са органични разтвори, в които като разтворители се използват толуол, ксилол, бензол и др. Измерваните проби могат да се поставят в непосредствен контакт със сцинтилатора чрез потапяне или смесване, което означава, че всички излъчени частици или кванти преминават през сцинтилатора. С тях се регистрират частици с много ниски енергии.

Газови сцинтилатори са благодарение на газовете – хелий, аргон, криптон, ксенон и др. По-висока конверсиална активност имат по-тежките от тях, а най-добра – някои смеси от такива газове, например 90% хелий и 10% ксенон. Газовите сцинтилатори сцинтилират в областта на ултравиолетовите лъчи, поради което се налага използването на отместители [2, 6].

4.3 Фотоумножители

За трансформиране на светлинната енергия, излъчена от сцинтилатора при облъчване с йонизиращи лъчения в токов импулс се използват най-различни ФЕУ. Основните им характеристики са:

- Спектрална чувствителност на фотокатода – в повечето ФЕУ се използват антимоно-цезиеви фотокатооди с максимална чувствителност на фотокатода от порядъка на 400 мкм.

- Ток на тъмно – той се дължи на термиемисията на фотокатода. Зависи от температурата на фотокатода и напрежението между фотокатода и първия електрод.

- Интегрална чувствителност на катода – токът през анодното съпротивление на фотоумножителя при светлинен поток 1 лумен.

- Ефективност на фотокатода
- Максимално напрежение
- Коефициент на усилване
- Геометрични размери

5. Полупроводникови детектори

На границата между два полупроводника с р-тип и n-тип проводимост, в отсъствие на електрично поле, се извършва дифузия на основните токоносители на всяка област в съседната. По този начин електрони от полупроводника с n-тип проводимост навлизат в р-областта, а дупки от полупроводника с р-тип проводимост навлизат в n-областта. В резултат на това граничния слой на р-полупроводника се зарежда отрицателно, а този на n-полупроводника – положително. Така се създава електрично поле, наречено потенциален бариер, което се противопоставя на дифузията и

настъпва динамично равновесие. При прилагане на външно напрежение с обратна полярност на полето на р-п прехода височината на потенциалния бариер намалява и преходът е поляризиран в права посока, а протичащият през него ток зависи от експоненциален закон от приложеното напрежение.

Ако обаче положителният полюс на източника се свърже с п-областта, а отрицателният полюс – с р-областта, приложеното напрежение повишава потенциалния бариер, ширината на р-п прехода се увеличава и във веригата протича много слаб ток, обусловен само от неосновните носители в двата полупроводника. Полупроводниковите детектори с р-п преход работят в такъв режим [1, 5].

6. Основни дозиметрични величини

Дозиметрията е дял от експериментралната ядрена физика, който се занимава с измерване на дозите на облъчване от йонизиращи лъчения и тяхното въздействие върху веществата.

6.1 Погълната доза – основна дозиметрична величина, която характеризира взаимодействието на какво да е лъчение с какво да е вещество. Измерва се в Gy (Грей). Бележи се с буквата D

6.2 Еквивалентна доза – характеризира взаимодействието на лъчението с биологичната тъкан в зависимост от вида на лъчението. Измерва се в Sv (Сиверт)

$H = WR \cdot DR$, където WR – радиационен тегловен коефициент; DR – средна погълната доза в даден орган

6.3 Експозиция – характеризира взаимодействието на гама лъчите с въздуха. Бележи се с буквата X. Измерва се в R (Рентген)

7. Заключение

Дозиметрията и като цяло дозиметричният контрол намират широко разпространение при хората, работещи в атомните централи, при добив на ядрени гориво и др. Различните методи за детектиране се различават по това какво свойство на радиоактивно лъчение използват. Приборите за дозиметричен контрол имат своите предимства и недостатъци като например йонизационната камера е много точна и прецизна и резултатите се отчитат веднага, но изисква въвеждане на множество корекции при измервания във високоенергийни лъчеви полета. Ето защо преди замерване трябва да се избере най-подходящия дозиметър предвид обстановката.

Използвана литература

1. инж. Мишев, И. „Радиометрия и дозиметрия“, Държавно издателство „Техника“, София, 1962 г.

2. Лилков, В., „Ядрена физика“, Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“, Катедра „Физика“, София, 2010 г.

3. Учебно помагало за преподаватели и студенти „Физика в лъчелечението“

4. <https://en.wikipedia.org/wiki/Dosimeter>

5. <https://bg.techinfus.com/dlya-zdorovya/prochaya-texnika/individualnyj-dozimetr.html>

6. Димитров, Б. К. Ядрено и химическо разузнаване при бедствия, аварии и катастрофи, монография. Изд. комплекс на НВУ „Васил Левски”, ВТ, 2018. ISBN 978-954-753-268-7.

7. Долчинков, Н. Т. Действия на населението при извънредни ситуации, монография. Изд. комплекс на НВУ „Васил Левски”, ВТ, 2020. ISBN 978-954-753-306-6.

8. Пъдарев, Н. И. Оценка на риска от възникване на радиационно, химическо или биологично опасно събитие при операции в подкрепа на международният мир и сигурност. Сборник доклади от научна конференция „Актуални проблеми на сигурността”, на НВУ „Васил Левски” – град Велико Търново, том 6, стр. 151-157. Изд. комплекс на НВУ „Васил Левски”, ВТ, 2019.

9. Dolchinkov, N., V. Karaivanova-Dolchinkova, Radiation effect on human and living nature. International scientific journal: Science. Business. Society 5. 2016. стр. 59-61.

10. Dolchinkov N. T., Characteristics of radiation and sources of radiation as a result of human activity, International scientific journal: Industry 4.0 Issue 6, 2/2017, december 2017, стр. 279-283, ISBN 2535-0153

11. Долчинков Н. Т., Н. Озерова, Влияние на тежките метали върху околната среда, Сборник доклади от научна конференция „Радиационната безопасност в съвременния свят“, НВУ „В. Левски“- гр. В. Търново – 22 ноември 2019 г ISBN 2603-4689

Адрес за кореспонденция:

Ивета Илиянова Белберова, студент, НВУ „Васил Левски”

катедра „Защита на населението и инфраструктурата”

E-mail: ivetabelberova@abv.bg

DOI: 10.34660/INF.2023.83.25.021

ЯДРЕНИ РЕАКЦИИ И ИЗПОЛЗВАНЕТО ИМ ВЪВ ВОЕННОТО ДЕЛО

Добромир Георгиев

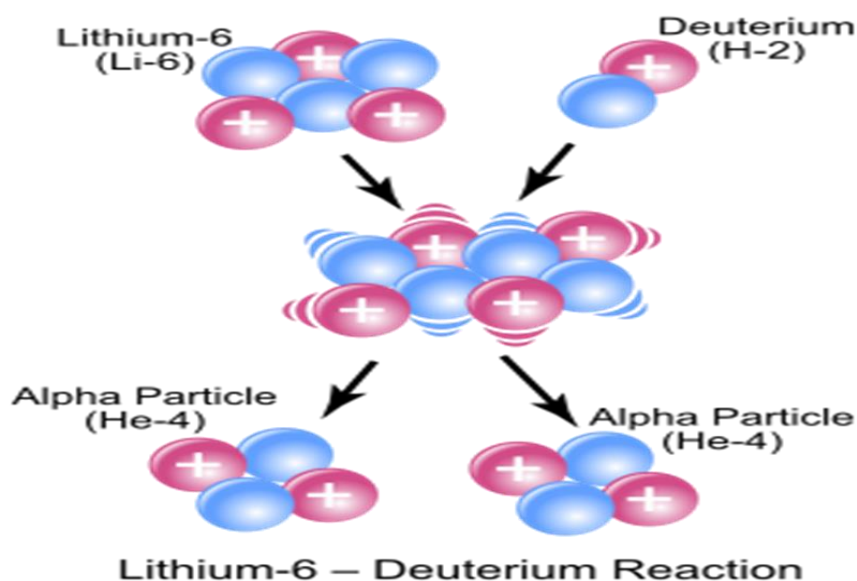
NUCLEAR REACTIONS AND THEIR USE IN MILITARY AFFAIRS

Dobromir Georgiev

Abstract: The main types of nuclear reactions and the natural resources used for their implementation are considered. The main types of nuclear weapons and their role in the modern world are examined.

Keywords: nuclear reaction, uranium, nuclear bomb, hydrogen bomb, fusion, nuclear fission

Ядрена реакция това е процес, при който две атомни ядра или елементарни частици взаимодействат по такъв начин, че се получават продукти, различни от началните [1, 6, 10]. Много често такива реакции са при отделяне (в много редки случаи поглъщане) на огромно количество енергия. За осъществяване на реакцията е необходимо взаимодействащите частици (ядра) да се доближат на разстояние от порядъка на 10–13 см.

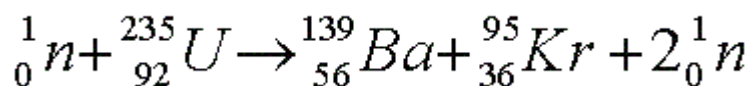


Фиг. 1. Протичане на ядрена реакция при леки ядра

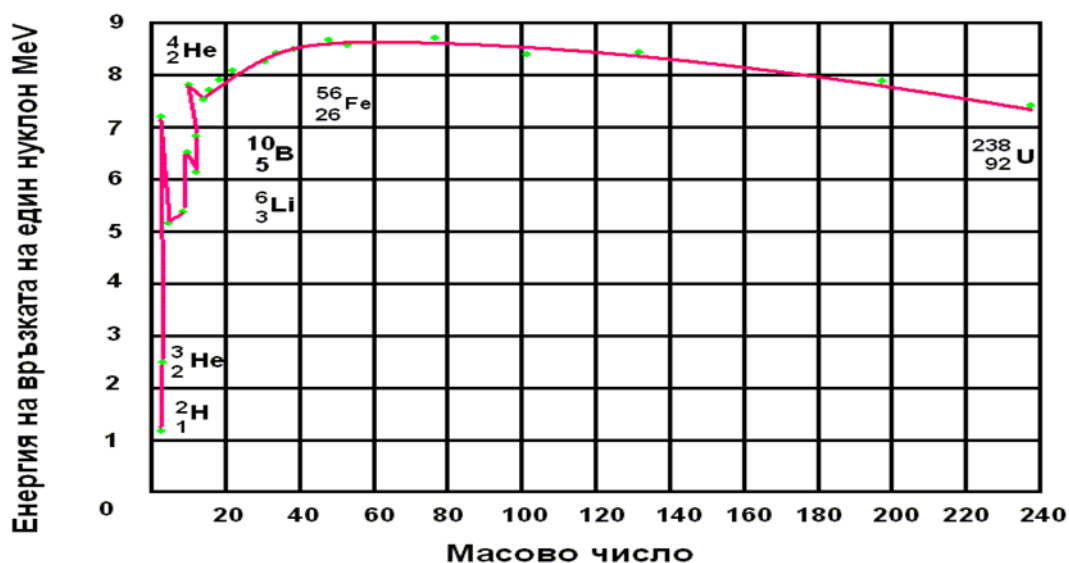
Ядрена верижна реакция - самоподдържащ се процес, при който всяко превръщане на атомно ядро създава условия за ново превръщане от същия вид. Ядрена верижна реакция е например делението на урана или плутония под действието на неутрони, получени при самото деление. Може да протече мигновено (атомна бомба) или да е бавна, управляема (ядрен реактор) [5, 7, 12].

ВЕРИЖНА ЯДРЕНА РЕАКЦИЯ

Това явление е открито през 1939 г. от немските физици Хан и Щрасман. Още същата година е обяснено от Фриш и Майтнер. Една година по-късно руските физици Фльоров и Петржак откриват спонтанното делене на урановите ядра с период на полуразпадане 1016– 1017 години.



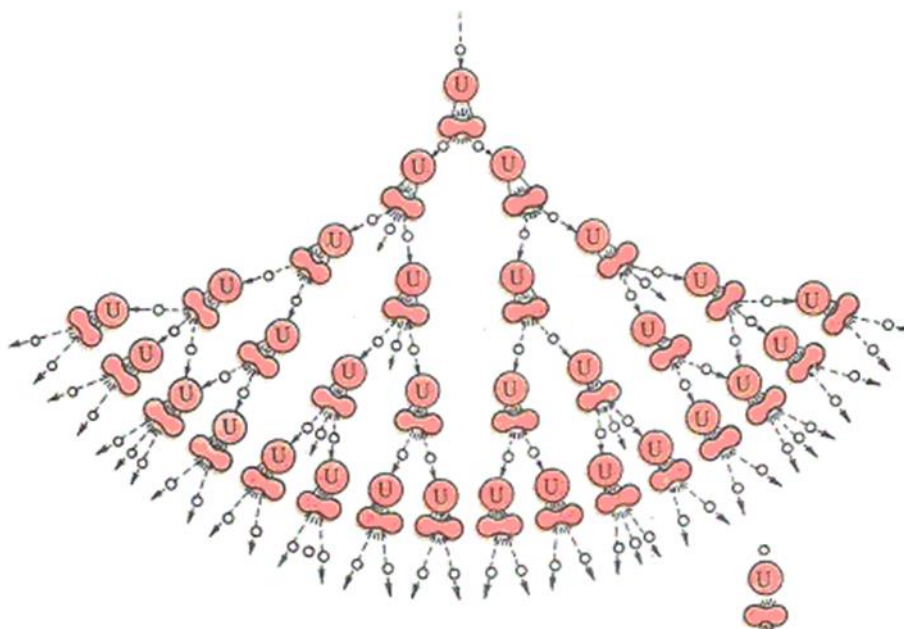
Тежките ядра могат да се делят при бомбардирането им с неутрони, протони, гама кванти и др. частици, а също така и самопроизволно. Най-голямо значение има деленето на ядрата от неутрони. При тази реакция се освобождава енергия, еквивалентна на разликата в масите на взаимодействащите частици и крайните продукти. Разликата в масите се дължи на така наречената Енергия на връзката – енергия обусловена от ядрените сили на привличане между нуклоните в ядрото [3, 4, 8]. Ако разгледаме графиката на енергията на връзката на един нуклон в зависимост от масовото число, забелязваме че максимума на специфичната енергия на връзката е при химичните елементи от средата на периодичната таблица.



Фиг 2. Зависимост на енергията на свързване от масовото число

Ако тежко ядро (уран 92) се раздели се получават две по-леки ядра с приблизително равни маси се отделят 2-3 неутрона. Оказва се че общата маса на получените ядра и на неутроните е по-малка от масата на урана. Получената разлика в масите (масовият дефект) е еквивалентна на 200 MeV и се отнася от разлитащите се части, получени при реакцията.

Това е огромна енергия и перспективите за нейното използване са крайно привлекателни. Същественото за ядрените реакции на делене е това, че при тях се отделят нови неутрони, които са способни да предизвикат деленето на нови ядра. По такъв начин един неутрон може по принцип да постави начало на разклонена верига от реакции на делене, в резултат на което възниква самоподдържащ се процес на делене. Този процес се нарича верижна реакция [2, 9, 12].



Фиг. 3. Протичане на верижна реакция

Условията за протичане на верижна ядрена реакция се определят от съотношението между вероятностите за поддържане на верижната реакция и за нейното прекъсване. Минималното условие за поддържане на верижна реакция се състои в това всяко делящо се ядро да дава средно поне един вторичен неутрон, които да предизвика делене на друго ядро. Ядрените верижни реакции се характеризират с коефициента на размножаване на неутроните, който се дефинира, като отношение на броя на неутроните от дадено поколение към броя на неутроните от предшестващото поколение.

$$K = \frac{n_i}{n_{i-1}}$$

Системата, за която $k=1$, се нарича критична система. В такава система верижната реакция протича с постоянна скорост. При $k>1$ верижната реакция протича с нарастваща скорост (надкритична система), а при $k<1$ - реакцията затихва (подкритична система). При описване баланса на неутроните в една система е необходимо да се имат в предвид следните процеси:

1. Излитане на част от неутроните от системата без да успеят да взаимодействат- т. наречената „утечка“ на неутроните.

2. Поглъщане на неутроните от ядрата на ^{235}U , без да се предизвика делене.

3. Поглъщане на неутрони от ядрата на забавителя, на различните примеси и ядра- продукти.

4. Поглъщане на неутрони съпроводено с ядрено делене. Такива размери на системата, при които се осъществява самоподдържаща се реакция на делене ($k=1$), се наричат критични размери. Критичните размери не са постоянна величина, а зависят от изотопния състав на урана, формата и разположението на средата, обкръжението, количеството забавител и др. Утечката на неутрони може съществено да бъде намалена, а с това да бъдат намалени и критичните размери, ако системата се обкръжи с добър отражател. Количеството ядрено вещество, намиращо в система с критични размери, се нарича критична маса. Като знаем критичните размери на системата и плътността на делящия се материал можем да определим критичната маса. С увеличаване размерите на системата критичната маса расте [11, 12].

Използване във военното дело

Ядреното оръжие е оръжие за масово унищожение. Всичките му форми разрушават (или правят негодна за обитаване) голяма територия около мястото на взрива.

То е и оръжието с най-неизбирателно действие, създавано дотогава. При употребата му се отделят големи количества радиоактивни отпадъци.

Ядреното оръжие е основното стратегическо оръжие след Втората световна война и остава такова до настоящия момент [7, 8].

Има няколко вида ядрено оръжие:

- **Атомна бомба**

Атомната бомба е най-ранният вид ядрено оръжие. Работният ѝ принцип се основава на деленето на ядрата на тежки нестабилни елементи, като уран-235 или плутоний-239. Протичащата реакция е неконтролируема и верижна, довеждаща до имплозията на ядрения материал вътре в бомбата и последващо отделяне на огромно количество енергия под формата на лъчение, светлина и топлина.

- **Водородна бомба**

Водородната бомба е наричана още термоядрено оръжие, оръжие на принципа на Телър-Улам по името на своите изобретатели Едуард Телър и Станислав Улам. Базирана е на ядреното сливане – процесът, който протича в ядрото на звездите, при който две по-леки ядра се сливат в едно по-тежко. При ядреното сливане изходният продукт (по-тежкото ядро) има по-малко количество материя и маса от началните продукти. Загубената материя се преобразува в колосално количество енергия.

- **Неутронна бомба**

Неутронната бомба е специфичен вид атомна бомба, при която потокът неутрони, излъчени при взрива е основният поражаващ фактор. Като всяко ядрено оръжие, тя също освобождава светлинна и топлинна енергия, но целевият ефект е излъчването на максимален брой неутрони. Вместо отражателна, обвивката на бомбата е направена от хром и никел, така че всички неутрони, които се отделят при ядрената реакция, да бъдат пропуснати навън. Целта е тези неутрони да предизвикат изкуствена радиоактивност в околната среда. Ефектите от това са, че се разпадат сравнително малък брой атоми при верижната реакция и отделената взривна енергия е сравнително малко [9, 10].

- **Кобалтова бомба**

Кобалтовата бомба е вид атомна бомба, чийто външен слой е съставен от кобалт, който при ядрената реакция на плутония в самата бомба се превръща в изотопа кобалт-60 и излъчва огромни количества гама-лъчи.

- **Гравитационна бомба**

Гравитационната бомба се смята за едно от първите ядрени оръжия. Бомбата използва земното ускорение и натрупаната кинетична енергия, за да поразии целта

Литература:

1. Гърдев Е., Н. И. Пъдарев. Реални заплахи от ядрено оръжие за мирното население , Сборник доклади от научна конференция на НВУ “В. Левски” „Радиационната безопасност в съвременния свят“, В. Т. 2017.

2. Димитров Б. Методи за наблюдение и регистриране на йонизиращи лъчения, Сборник доклади от годишна университетска научна конференция „Актуални проблеми на сигурността”, 10.2017 г. НВУ „Васил Левски” – гр. В. Търново том 4, стр.140 -147 ;

3. Димитров Б. Развитие на системите за разпознаване, ранно предупреждение, мониторинг, специална и санитарна обработка, Сборник доклади от годишна университетска научна конференция „Актуални проблеми на сигурността” 10.2018 г. НВУ „Васил Левски” – гр. В. Търново, том 5, стр.226 -231 ;

4. Димитров Б. Специална подготовка за ядрена, химическа и биологическа защита – Монография – ISBN 978-954-753-286-1, 77 стр.;

5. Долчинков Н. Т., Мерки за радиационна защита при аварии с възможни радиационни последици за населението, Научна конференция „Актуални проблеми на сигурността“, НВУ, Велико Търново, 2017;

6. Dolchinkov, N., B. Karaivanova-Dolchinkova, Radiation effect on human and living nature. International scientific journal: Science. Business. Society 5. 2016. стр. 59-61. ;

7. Dolchinkov N. Radiation safety of Bulgaria in the contemporary international situation, Security and defence Quarterly No 4(13)2016, War Studies University, Warsaw, Poland, стр 3-14;

8. Dolchinkov N. History and development of nuclear weapons, International scientific journal: Security@future 1/2018, June 2018, ISSN 2535-0668 Стр. 32-35;

9. Dolchinkov N. Nuclear weapons in Russia, International scientific journal: Security@future 3/2018, ISSN 2535-0668 стр . 123-126;

10. Dolchinkov N. Nuclear weapons in NATO, International scientific journal: Science. Business. Society 4/2018, ISSN 2367-8380 стр. 181-184;

11. Долчинков Н. Т., Н. Озерова, Влияние на тежките метали върху околната среда, Сборник доклади от научна конференция „Радиационната безопасност в съвременния свят“, НВУ „В. Левски“- гр. В. Търново – 22 ноември 2019 г ISBN 2603-4689

12. <https://bg.wikipedia.org/wiki/>

Адрес за кореспонденция:

*Добромир Мариянов Георгиев, студент, НВУ „Васил Левски”
катедра „Защита на населението и инфраструктурата”
E-mail: Didog655@gmail.com*

DOI: 10.34660/INF.2023.12.70.022

ТЕРМОЯДРЕН СИНТЕЗ И НЕГОВОТО ИЗПОЛЗВАНЕ В ЧОВЕШКАТА ДЕЙНОСТ

Антони Йотов

FUSION AND ITS USE IN HUMAN ACTIVITY

Antoni Yotov

***Abstract:** The main types of nuclear reactions and in more detail thermonuclear fusion and the natural resources used for their implementation are considered. The main problems in the management of fusion and plasma and their role in the modern world are discussed.*

***Keywords:** nuclear reaction, uranium, fusion, nuclear fission, deuterium, tritium, tokamak*

Увод

Идеята за използване на управлявана от човека синтезна реакция на практика се появява за пръв път с военни цели в ядрените оръжия. Във водородната бомба, освободена енергия е използвана да компресира и загрее горивото за синтеза. Започнал, процесът на сливане освобождава голямо количество неутрони, което засилва реакцията на разпад. Първите оръжия, базирани на „разпад-синтез-разпад”, са освободили 500 пъти по-голяма енергия от първите атомни бомби. За да се използва за мирни цели, реакциите трябва да протичат бавно и контролируемо, за да могат да се управляват [7, 8, 12].

Основните източници на енергия, които човечеството ползва се делят на 2 групи : невъзобновяеми и възобновяеми.

Невъзобновяеми

- изкопаеми горива - Каменни въглища, петрол, природен газ
- уран, торий

Възобновяеми (алтернативни)

- геотермална енергия
- енергия на биомаси - Дървесина, торф, органични отпадъци
- слънчева енергия
- вятърна енергия
- хидроенергия
- енергия на океани - Течения, вълни, приливи, температурен градиент

- термоядрен синтез - Ядрена енергия

Изкопаемите източници дават 79% от използваната енергия, като 67% от тях се внасят. Основен проблем на ядрената индустрия е огромното количество радиоактивен отпадък, който се отделя. Всичко това, както и изчерпването на ископаемите горива, налага търсенето на нови „екологично чисти“ източници на енергия, които да са достатъчно ефективни [2, 10].

Физически основи

Термоядрен синтез е процесът, който осигурява енергията на слънцето и други звезди. Като същност представлява процес на сливане на „леки“ атомни ядра в по тежки, което е съпроводено с отделяне на енергия.

Основни изисквания :

а) Реакцията на сливане трябва да бъде екзотермична. Това ограничава реагентите. Те трябва да са с малък атомен номер Z . Това прави ${}^4\text{He}$ най-получавания продукт на реакциите, поради голямата си енергия на връзка.

б) Запазване на броя протони и неутрони : сеченията за слабите взаимодействия са твърде ниски.

в) Между 2 леки ядра действат Кулонови сили на отблъскване, които пречат на синтеза. За да се осъществи сливане, ядрата трябва да се приближат на много малки разстояния (10-14 m). На такива разстояния действат ядрените сили на привличане, които са много по-големи от Кулоновите. Ядрата на D и T трябва да преодолеят Кулоновата бариера. Освен това, за да се получи сливане, ядрата трябва да имат голяма кинетична енергия. При тези условия, веществото е във вид на плазма – напълно йонизиран газ, в който ядра и заредени частици се движат хаотично с големи дрейфови скорости [1, 5, 9, 12].

Причините за отделената енергия: При сливане на две ядра в едно по-тежко ядро, общата маса на получените след ядрения синтез ядра и частици е по-малка от общата маса на изходните ядра. На лице е масов дефект. На него съответства разлика в енергиите, която се отнася във вид на кванти.

Ядреният синтез в звездите протича при висока температура и налягане в звездната плазма. А и средното време за реакция е $\sim 1,4 \cdot 10^{10}$ години. Както е известно, възрастта на Вселената се оценява на около $1,37 \cdot 10^{10}$ години. Физически, отделянето на енергия на Слънцето става в резултат на много бавни процеси [6, 11, 12].

Деутерия и трития са естествените изотопи на водорода. Първия се съдържа в обикновената вода. Запасите му на Земята ще стигнат за около 20 милиарда години. Добива се чрез електролиза на вода – 1 l вода – 33 mg D. Трития, от своя страна е радиоактивен, не се съдържа в естествен вид в природата, поради малкия му период на полуразпад $T_{1/2} = 12,32$ г. Труден за произвеждане, съхранение и е скъп. Добива се от течен литий. Li е широко

разпространен в природата в изотопно съотношение $6\text{Li} / 7\text{Li}$. Съдържа се и в морската вода, като общото количество е 1000 пъти по-голямо от рудните запаси.

Предимства и недостатъци

А) Предимства

Неизчерпаемо, евтино гориво.

Работи се с малки количества вещество и това отстранява опасността от взривно протичане на реакцията. За реактор с мощност 1GW, годишното му потребление ще бъде 100 кг деутерий и 300 кг литий.

Не се отделят парникови газове и замърсители. За сравнение един ТЕЦ изхвърля годишно 106t CO₂, един АЕЦ 1000 пъти по-малко, ТЯЕЦ се предполага, че няма да изхвърля нищо.

Лесно се контролира работата на реактора. ТЯР прилича на газова горелка. Инжектираното в системата гориво се изгаря. В камерата на реактора се вкарва много малко количество гориво (1g D-T в обем от 1000 м³). Ако притокът на гориво се прекъсне, реакцията на синтез трае само няколко секунди.

Основно предимство е получаването на много по-малко дългоживущи РАО. Счита се, че след извеждане на ТЯР от експлоатация, ще са необходими само около 100 години, така че реактора да стане безопасен и материалите да могат да бъдат рециклирани [3, 4, 10, 12].

Получаване на водород за водородната икономика.

Б) Недостатъци и технологични проблеми

Основен недостатък е радиационното замърсяване на стените на реактора (т.нар. неутронна активация на материалите). Неутронния поток е 100 пъти по-голям от този при съвременните ядрени реактори. Също и топлинно натоварване на стените на камерата. Това предполага използването на специфични материали, способни да издържат на суровите условия на експлоатация – бомбардиране с неутрони с $\sim 25 \text{ MW/m}^2$ и енергия колко 14 MeV. Това води до дефекти в кристалната решетка на атомите и разрушаване на материала- нарастване на крехкостта и намаляване на механичната устойчивост.

Замърсяване на плазмата с примеси от вакуумната система и стените на камерата.

Друг недостатък е радиоактивния тритий, който подобно на водорода, е труден за удържане и създава риск от изтичане на газа извън реактора. Но дори и да настъпи разхерметизация, той е с малка плътност и в атмосферата ще попаднат незначителни количества тритий.

При магнитно удържане на плазмата се получават сериозни загуби на частици – т.нар. плазмени неустойчивости.

Несъвършенство на удържащото поле от електромагнити – може да разреши с използването на свръхпроводящи намотки. Плазмата не трябва да се допуска до стените на реактора. При всеки контакт със стените на съда, в който е затворена, тя бързо се охлажда и реакциите на синтез стават невъзможни.

Проблеми с хелия : т.нар. дивертори – устройства, предназначени за почистване на хелия от примеси, са подложени на допълнително въздействие от потоци частици и електромагнитни лъчения.

Повишаването на налягането води до опасни неустойчивости и се получават нестабилни работни режими, нараства и кинетичната енергия, от там трябва по-голямо удържащо магнитно поле [7, 12].

Важни параметри на плазмата

1) Температура на плазмата - 108 К – при тази температура, плазмата е напълно йонизирана. Още при температура няколко хиляди градуса, взаимодействието между атомите довежда до избиване на електрони от атомите.

2) Време за удържане – $\tau = (1 - 2) \text{ s}$. Достатъчно дълго, за да могат повече ядра да се слоят преди да се разлетят.

3) Плътност – брой частици в единица обем – $(2 - 3) * 10^{14} \text{ cm}^{-3}$. Достатъчно голяма, за да може да протекат повече реакции на сливане. При ниска плътност е ниска и мощността на реактора. При висока плътност, има мощен неутронен поток, който води до прегряване и радиационно задушаване на реактора.

4) Множител за усилване на мощността - $Q = \text{мощност, генерирана чрез реакция на синтез} / \text{вложена мощност} = 5 * (\text{мощност на загуби} / \text{мощност за нагриване})$. $Q > 1$ за ефективен ТЯС. Постигнато до момента $Q = 1,25$.

Термоядрен реактор

Горивото е смес от деутерий и тритий. Енергията на реакцията в плазмата се получава главно от неутроните. Те се поглъщат в т.нар. blanket. Той представлява специална обвивка, обкръжаваща плазмата, в която протича ТЯ реакция. Има система за охлаждане на парата и подхранване на парогенератора. Още две системи: една за отделяне на трития и една за почистване на горивото от хелий. Енергията от реакцията се отделя от първични неутрони и йони на хелия. Енергията се поглъща от blanketа, и като при АЕЦ се сменя от топлоносителя. Реакторът непрестанно трябва да се захранва с деутерий и тритий. Тритият се получава в процеса на работа на самия реактор от литий. В blanketа има смес от берилий и литий, които ще се използват за размножаване на неутрони. Възможни са различни схеми за използване на лития в blanketа. Възможно е използване на литиев оксид. Трития се извлича от blanketа посредством нагриване с поток горещ хелий.

В този случай се получава коефициент на възпроизводство на трития 1.1, което е достатъчно за снабдяването на реактора [8, 9, 12].

Удържане на плазмата

За достигане на температурата за започване на реакцията е необходим компромис между концентрацията на частиците (плътност) и времето за удържане в обем, който осигурява тази плътност. Може да се започне синтеза при по-малка концентрация на частиците за сметка на по-продължителното удържане на плазмата, а може и обратното.

1) Магнитно улавяне

Плазмата се удържа от свръхмощно магнитно поле. То изолира горещата плазма от първата стена на реактора. Заедно с плазмата, магнитното поле удържа и продуктите на реакцията – алфа-частици. Те предават своята енергия посредством сблъсък и се получава режим на самоподдържаща се термоядрена реакция, при която загубата на енергия се компенсира от енергията, получена от алфа-частиците. Плазмата не се налага да бъде допълнително нагрявана. При нарастване на температурата силовите линии на полето се сгъстяват и горещата плазма се концентрира от стените към центъра на камерата. Синтеза започва в момента, в който се достигне критерият на Лоусен.

а) ТОКАМАК - тороидална камера в магнитни намотки. За изобретател се смята руският физик А. Сахаров. През 1950 той изобретява магнитното удържане. Особеното при него е магнитното поле и начина по който то се получава. Магнитното поле се създава от тороидални магнитни бобини. С помощта на индуктора(централен соленоид), в камерата се създава вихрово електрично поле. Той представлява първична намотка на голям трансформатор, в който камерата е вторична намотка. Електричното поле предизвиква протичане на ток в тороидално направление и запалване в камерата. Токът, протичащ в плазмата изпълнява две задачи :

- нагрява плазмата, както би нагрявал всеки проводник

- създава около себе си магнитно поле. Магнитното поле свива протичащия през плазмата ток и като резултат се получава конфигурация, която винтовите магнитни силови линии обвиват плазмения шнур. Полоидалното магнитно поле е необходимо за стабилно удържане на плазмата в тази система. Тъй като това се създава за сметка на увеличаване на тока в индуктора, а той не може да стане безкрайно голям, стабилното съществуване на плазмата в класическия токамак е ограничено. Изискват се допълнителни методи за поддържане на тока. Освен тороидалните бобини, за управление на плазмения шнур са необходими и допълнителни намотки за полоидално поле. Те представляват пръстеновидни намотки около

вертикалната ос на токамак-а. В съвременните разработки има нововъведения като : допълнително нагряване на плазмата с инжекция на високоенергетични неутрални частици. Чрез удари с йоните предават своята енергия на йонизираната среда; системи за управление на плазмата; Първият токамак Т3 е построен в Русия, 1956 г. Дълго време е имало само там такива установки. През 1968 в института по атомна енергия в Москва е построен Т6 и е постигната температура 10 милиона градуса. Което дава началото на мащабно строене на Токамаки. По-известни проекти са JET (Великобритания), JT-60 (Япония), KSTAR (Корея), TORE SUPRA (Франция)

б) Стеларатор – друг тип камера с магнитно улавяне, но полоидалното магнитно поле се създава от външни намотки, а не с ток, протичащ в плазмата. Това е единственото предимство с оглед на работа в „непрекъснат режим“. Не изисква сложни системи за поддържане на плазмения ток. Той е аксиално-симетрично устройство. Магнитната ос е триизмерна крива с променливо сечение на плазмата. Едни от най-известните проекти са Wendelstein 7-X, в Германия, Helically Symmetric Experiment (HSX) в САЩ и Large Helical Device в Япония. Първият е с магнитно поле 3Т и се очаква да бъде завършен 2015 г.

2) Инерционно улавяне

Критерият на Лоусен се постига в резултат на увеличаване на плазмената плътност и намаляване на времето на удържане, което се постига чрез свиване на сместа. Импулсните системи за реализиране на УТЯС се реализират след изобретяването на лазерите. С лъчение от такъв източник се облъчва неголяма сферична обвивка, запълнена с газообразно и твърдо гориво. Под действието на лазерното лъчение материалът на обвивката се изпарява и се създават реактивни сили, които свиват сместа. Капка охладена смес от D и T се разполага в съответна капсула и след това от всички страни се обстрелва с мощни лазерни лъчи. Външният слой на капката мигновено се изпарява, в резултат на който върху вътрешния слой на капката въздействат сходящи се ударни вълни. Те се свиват и загряват водорода до необходимата температура за започване на синтеза. Възможност за бързо запалване е с помощта на свръхмощен допълнителен импулс. За запалване са нужни много високи плътности на мощността – до 1020 W/cm²с пълна енергия няколко десетки кJ. Подобни параметри са получени при експерименти с подземни ядрени взривове. Но както знаем, т ези експерименти са забранени, защото могат да бъдат използвани за направата на ядрени оръжия. Предимство на лазерното лъчение е лесната фокусировка и това дава възможност да се получат много големи плътности на мощността. Недостатък е ниското КПД и високата им себестойност. Освен лазери се използват и йонни или електронни снопове, които да осигурят

достатъчно мощност на повърхността на мишената. Също и такива, които използват мощни импулси рентгеново лъчение – установка Sandia в САЩ.. Тук, за разлика от магнитния термоядрен реактор, не се изискват висок вакуум и чистота на плазмата. Трудности има при създаване на прецизни мишени и системи, контролиращи положението на мишената в камерата и динамичната фокусировка на потоците. По-известни проекти са: с лазерни установки NOVA и OMEGA в САЩ, ИСКРА 5 –Русия, Phebus – Франция.

Взривна деутериева енергетика

Към края на 90-те години в един от руските центрове (гр. Снежинск – преди това Челябинск-70) се разработва метод за получаване на термоядрена енергия, основан на атомни взривове, чрез които се инициират D+D реакции. Инициатори са Уран или Плутоний. Достатъчно е да се конструира камера с голям обем, тя да се напълни с топлоносител, в нея периодично да се взривяват деутериеви смеси, а получената енергия, чрез топлообмен, да се преобразува в ел. енергия и топлина, както става в АЕЦ. Такава камера може да работи в затворен цикъл. Получената енергия отива за производството на ел. енергия, а неутроните регенерират ^{239}Pu от ^{238}U , както това става при реакторите на бързи неутрони. Възможен е и ториев цикъл – получаване на ^{235}U от ^{232}Th . Като гориво се използва само деутерий, като високата температура се получава при взрива на инициатора. Съдът в който протича взрива е с много големи размери: $r = 60\text{ m}$, $h = 250\text{ m}$, представлява камера от железобетон напълнена с разреден аргон. За смекчаване на ударната вълна, пред стените се създава защитна завеса от течен натрий, който се използва и за акумулатор за образувалото се ядрено гориво. Всичко това се разполага под земята, в скалисти образувания [12].

Литература:

1. Гърдев Е., Н. И. Пъдарев. Реални заплахи от ядрено оръжие за мирното население , Сборник доклади от научна конференция на НВУ “В. Левски” „Радиационната безопасност в съвременния свят“, В. Т. 2017.
2. Димитров Б. Методи за наблюдение и регистриране на йонизиращи лъчения, Сборник доклади от годишна университетска научна конференция „Актуални проблеми на сигурността”, 10.2017 г. НВУ „Васил Левски” – гр. В. Търново том 4, стр.140 -147 ;
3. Димитров Б. Развитие на системите за разузнаване, ранно предупреждение, мониторинг, специална и санитарна обработка, Сборник доклади от годишна университетска научна конференция „Актуални проблеми на сигурността” 10.2018 г. НВУ „Васил Левски” – гр. В. Търново, том 5, стр.226 -231 ;
4. Димитров Б. Специална подготовка за ядрена, химическа и биологическа защита – Монография – ISBN 978-954-753-286-1, 77 стр.;

5. Долчинков Н. Т., Мерки за радиационна защита при аварии с възможни радиационни последици за населението, Научна конференция „Актуални проблеми на сигурността“, НВУ, Велико Търново, 2017;

6. Dolchinkov, N., B. Karaivanova-Dolchinkova, Radiation effect on human and living nature. International scientific journal: Science. Business. Society 5. 2016. стр. 59-61.;

7. Dolchinkov N. Radiation safety of Bulgaria in the contemporary international situation, Security and defence Quarterly No 4(13)2016, War Studies University, Warsaw, Poland, стр 3-14;

8. Dolchinkov N. History and development of nuclear weapons, International scientific journal: Security@future 1/2018, June 2018, ISSN 2535-0668 Стр. 32-35;

9. Dolchinkov N. T., Characteristics of radiation and sources of radiation as a result of human activity, International scientific journal: Industry 4.0 Issue 6, 2/2017, December 2017, стр. 279-283, ISBN 2535-0153;

10. Долчинков Н. Т., Н. Озерова, Влияние на тежките метали върху околната среда, Сборник доклади от научна конференция „Радиационната безопасност в съвременния свят“, НВУ „В. Левски“- гр. В. Търново – 22 ноември 2019 г ISBN 2603-4689;

11. <https://www.vesti.bg/sviat/>

12. <https://bg.wikipedia.org/wiki/>

Адрес за кореспонденция:

*Антони Николаев Йотов, студент, НВУ „Васил Левски”
катедра „Защита на населението и инфраструктурата”
E-mail: tonidinov@abv.bg*

DOI: 10.34660/INF.2023.38.76.023

СТРОЕЖ НА АТОМА И РАДИОАКТИВНОСТ

Мария Ангелова

CONSTRUCTION OF THE ATOM AND RADIOACTIVITY

Maria Angelova

Abstract: *The main theories about the structure of the atom and the nucleus, which were created with the development of science, are examined. The main characteristics of the atom and the nucleus are shown*

Key words: *atom, nucleus, mass, radioactivity, interaction, characteristic*

Атомът (от старогръцки: ἄτομος – „неделим“) е основната градивна частица на веществото и се състои от плътно централно ядро с положителен електричен заряд, заобиколено от облак отрицателно заредени електрони. Атомното ядро на свой ред е изградено от положително заредени протони и електрически неутрални неутрони. Електроните в атома са свързани с ядрото чрез електромагнитна сила.

Атомите могат да съществуват в свободно състояние или да се свързват помежду си в молекули чрез химични връзки, също основаващи се на електромагнитните сили. Атом с равен брой протони и електрони е електрически неутрален, в противен случай той има положителен или отрицателен електрически заряд и се нарича йон. Различните атоми се класифицират според броя на протоните и неутроните в ядрото: броят на протоните определя химичния елемент, а броят на неутроните определя различните изотопи на съответния елемент [1, 9].

Концепцията за атома като неделима съставна част на материята е предложена за първи път от античните философи на Индия и Древна Гърция. През 18 и 19 век химиците дават физическа основа на тази идея като показват, че някои вещества не могат да бъдат разделени чрез химически реакции и прилагат старото философско понятие атом, за да обозначат тази химическа неделимост. Атомите и молекулите се възприемат като най-малките градивни частици на материята. В края на 19 и началото на 20 век физиците откриват субатомни частици и установяват структура вътре в атома, като по този начин опровергават неделимостта му и считат името за

неподходящо. То обаче остава. Съвременното разбиране за атома се основава на принципите на квантовата теория [2, 10].

Атомите са миниатюрни обекти с диаметри от няколко десети от нанометъра и съответстваща на размера им маса. Те могат да се наблюдават само със специални инструменти, като сканиращ тунелен микроскоп. Над 99,94% от масата на атома е съсредоточена в ядрото като протоните и неутроните имат приблизително еднаква маса. Всеки елемент има поне по един изотоп с нестабилно ядро, което може да претърпи ядрен разпад.

Електроните, свързани в атома, притежават стабилни енергийни нива (т.е. намират се на определени атомни орбитали), като могат да извършват квантов скок към друго енергетично ниво чрез поглъщане или изпускане на фотон с енергия, равна на разликата в енергиите на съответните енергетични нива. Електроните определят химичните свойства на химичния елемент и влияят върху магнитните свойства на атома [1, 5, 11].

АТОМИЗЪМ

Идеята, че материята е съставена от отделни неделими частици, датира от хилядолетия, но в древността тя е по-скоро предмет на абстрактни размишления от страна на философите, отколкото обект на експерименти и емпирични наблюдения. Представите за атом във философията варират значително според историческото време, културата и философската школа и често съдържат и духовен елемент. Въпреки това, хиляди години след нейната поява, в Новото време основната идея за атома е възприета от учените, защото добре обяснява новите открития в химията и физиката.

Идеята за атома се споменава още в Древна Индия и Древна Гърция. В Индия атомистичните теории на джайнизма и школите Адживика и Чарвака се появяват вероятно през 6 век пр.н.е.

По-късно школите Няя и Вайшешика развиват свои теории за начина, по който атомите се съчетават в по-сложни обекти. В Европа атомите се споменават за пръв път от древногръцкия философ Левкип и неговия ученик Демокрит, който систематизира възгледите му и често е сочен за основоположник на атомизма. Приблизително през 450 г. пр.н.е. Демокрит за пръв път употребява термина *átomos* (на гръцки: ἄτομος), което означава „неделим“. Макар и индийската и гръцката концепции да са чисто философски, а в съвременното разбиране атомите са делими, модерната наука запазва древното гръцко име [1, 6].

През 13 век алхимикът Псевдо-Гебер излага постулата за „корпускуларизма“, според който всички тела притежават външен и вътрешен слой от миниатюрни частици – „корпускули“. Корпускуларизмът е подобен на теорията за атома, макар че докато атомите са приемани за неделими, корпускулите по принцип не са такива. Така например алхимиците смятат, че живакът може да прониква в металите и да променя

тяхната вътрешна структура. Корпускуларизмът остава доминираща теория в алхимията през следващите няколко столетия.

През 1661 г. натурфилософът Робърт Бойл публикува труда си „Скептичният химик“ („The Sceptical Chymist“), в който твърди, че веществото е съставено от различни комбинации на корпускули или атоми, а не от класическите елементи въздух, земя, огън и вода. Малко по-късно Исак Нютон също използва понятието „корпускули“ при създаването на своята корпускулярна теория на светлината [3, 7, 11].

Формиране на научна теория на атома

Развитието на възгледа за атомите получава нов тласък с напредъка на химията. През 1789 г. французинът Антоан Лавоазие формулира закона за запазване на масата и дефинира химичния елемент като основна субстанция, която не може да се разделя по химичен път. Малко по-късно, през 1799 г., Жозеф Пруст извежда и закона за постоянния състав на химичните съединения. Тези два закона са основата за откритията на англичанина Джон Далтон, които изиграват решаваща роля за развитието на понятието за атом.

През 1805 г. Далтон използва идеята за атомите, за да обясни защо елементите винаги реагират в съотношения, равни на малки цели числа (закон за кратните отношения), и защо някои газове се разтварят по-добре във вода от други. Според него всеки химичен елемент е съставен от атоми от различен специфичен вид и тези атоми могат да се съчетават и да образуват по-сложни химични съединения. Тъй като той стига до това заключение чрез експерименти и анализ на резултатите, това поставя началото на истинската научна теория на атома.

Далтон оценява атомните тегла на елементите според пропорциите на съответните маси, с които те се съединяват един с друг, като за единица приема водорода. Той допуска известни неточности при съставянето на своите таблици, но те са коригирани през 1811 г. от Амедео Авогадро. Авогадро предлага хипотезата (наречена по-късно закон на Авогадро), че един мол от произволен газ при еднаква температура и налягане заема един и същ обем и съдържа еднакъв брой молекули. Атомната хипотеза на Далтон не определя размера на атомите, въпреки че те очевидно би трябвало да са много малки. Едва през 1865 г. Йохан Йозеф Лошмит измерва размера на молекулите на въздуха, с което дава представа за абсолютните размери на атомите [3, 4, 11].

През 1869 г., обобщавайки направените дотогава открития, руснакът Дмитрий Менделеев създава първата Периодична система на елементите. Самата таблица е визуализация на периодичния закон, според който свойствата на химичните елементи се повтарят периодично, когато те бъдат подредени по атомен номер.

Теорията на атома получава допълнителна подкрепа през 1827 г. от откритието на шотландския ботаник Робърт Браун, че частици прах върху водна повърхност, наблюдавани под микроскоп, се движат хаотично – явление, станало известно като Брауново движение. През следващите десетилетия се правят опити то да се обясни с топлинното движение на водните молекули, като през 1905 г. германецът Алберт Айнщайн прави първия математически анализ на явлението. През 1908 г. французинът Жан Батист Перен въз основа на заключенията на Айнщайн определя масата и размерите на някои атоми, с което окончателно потвърждава Далтоновата теория на атома.

Изследвания на вътрешното устройство

През 1897 г. английският физик Джоузеф Джон Томсън открива съществуването на електрони чрез експериментите си с наричаните тогава катодни лъчи и стига до извода, че те са съставна част на всички атоми. С това той отхвърля представата, че атомите са крайната неделима частица на материята. Според Томсън леките и отрицателно заредени електрони са разпределени в целия обем на атома или може би се въртят по кръгови орбити, като електрическият им заряд се уравнива от наличието на облак от положителен заряд, разпределен в пространството. По-късно този модел е наречен „пудинг със стафиди“.

Моделът на Томсън е отхвърлен през 1909 г., когато новозеландецът Ърнест Ръдърфорд и неговите студенти Ханс Гайгер и Ърнест Марсдън откриват експериментално атомното ядро. Експериментът се състои в бомбардирането на златно фолио с алфа-частици, за които се знае, че са положително заредени хелиеви атоми. Установено е, че малка част от преминалите частици претърпяват отклонения, далеч по-големи от очакваните при модела на Томсън. Ръдърфорд приема, че почти цялата маса и положителният заряд на тежките златни атоми са концентрирани в една много малка част от неговия обем, която нарича ядро. Тази представа получава името модел на Ръдърфорд.

През 1913 г. при експерименти с продуктите на радиоактивен разпад английският радиохимик Фредерик Содди установява, че във всяка позиция на Периодичната система изглежда има по повече от един химичен елемент и въвежда понятието изотоп. Непосредствено след това, въз основа на своите изследвания на йонизираните газове, Томсън предлага метод за отделяне на различните видове атоми, което по-късно довежда до откриването на стабилните изотопи.

През същата 1913 г. датският физик Нилс Бор предлага нов модел на атома, който взема за основа модела на Ръдърфорд, но с една съществена разлика: електроните обикалят около ядрото само по точно определени кръгови орбити с дискретни (квантувани) стойности на характеризиращите

ги момент на импулса и енергия. Те могат да прескачат от една орбита на друга, но не и да се движат свободно в междинните нива. Тъй като радиусът на орбитата е пропорционален на енергията на електрона, при тези преходи между две нива с различна енергия електронът излъчва или поглъща определени количества енергия във вид на фотони, чиято честота е пропорционална на промяната в енергията на електрона. По този начин моделът на Бор обяснява дискретните и постоянни за даден материал спектрални линии, наблюдавани при спектрален анализ на излъчваната при нагряване светлина [1, 8, 11].

По-късно през същата година английският физик Хенри Моузли дава допълнителни експериментални потвърждения за теорията на Нилс Бор. Неговите резултати прецизират моделите на Ърнест Ръдърфорд и холандеца Антониус ван ден Брук, като според Моузли в ядрото на атома има положителни заряди, по брой равни на атомния номер на елемента в периодичната система. Преди експериментите на Моузли не е известно атомният номер да е свързан с някакви физични или емпирични свойства. По този начин опитите на Моузли показват, че местата на елементите в периодичната система не са избрани само въз основа на химичните им свойства, а имат солидна физическа основа.

Чрез атомната теория намира своето обяснение и химичната връзка между атомите – това прави американецът Гилбърт Люис през 1916 г., като я свързва с електронно взаимодействие между атомите. Тъй като е известно, че химичните свойства на елементите се повтарят според периодичния закон, през 1919 г. американецът Ървинг Лангмюр обяснява това с теорията, че електроните в атома са свързани един с друг или групирани по някакъв начин. Приема се, че групите от електрони образуват набор от електронни обвивки около ядрото.

Следващо доказателство за квантовия характер на атомите се получава от експеримента на Щерн-Герлах от 1922 г. При него сноп от сребърни атоми се пропуска през нехомогенно магнитно поле и се регистрира следата му. Оказва се, че снопът се разцепва на две – открито е наличието на спин (момент на импулса на атома), който има само две стойности и е ориентиран само в две посоки – нагоре или надолу. Ако големината и посоката на спина бяха произволни, разпределението на преминалите атоми щеше да е непрекъснато (всички стойности са еднакво вероятни) и регистрираните следи от тях щяха да образуват непрекъсната права линия.

През 1924 г. французинът Луи дьо Бройл изказва предположение, че всички частици в някаква степен имат поведение и на вълни – корпускулярно-вълнов дуализъм. През 1926 г. австриецът Ервин Шрьодингер развива математически тази идея и представя електроните не като точкови частици, а като триизмерни вълнови функции. Едно от

следствията на това математическо представяне е, че математически е невъзможно да се определят едновременно положението и импулсът на частицата. Този принцип на неопределеност е формулиран през 1927 г. от германеца Вернер Хайзенберг – според него при определяне на положението на частицата с дадена точност може да се получи само множество от вероятни стойности на импулса и обратното. Този принцип прави невалиден модела на Бор с неговите точно определени кръгови орбити, но успява да обясни някои особености в поведението на атомите, по-тежки от този на водорода. По тази причина планетарният модел на Бор е заменен с модела на атомните орбитали, който описва позицията на електроните спрямо ядрото само като вероятности [1,11].

Развитието на масспектрометрията позволява да се измерят точно атомните маси. Масспектрометърът е устройство, в което сноп йони на изследвания елемент се пропускат през магнитно поле и се измерва тяхното отклонение на изхода, като така се получава съотношението на атомната маса към електрическия заряд на атомите. Английският химик Франсис Уилям Астън използва този уред, за да демонстрира, че изотопите имат различна маса, която при това се изменя със стойности, кратни на масата на водородния атом. Разликата в атомните маси на изотопите намира своето обяснение през 1932 г. с откриването на неутрона, частица без електричен заряд и с маса, подобна на тази на протона, от англичанина Джеймс Чадуик. Така изотопите са дефинирани като химични елементи с еднакъв брой протони, но с различен брой неутрони в атомното ядро.

Ядрена физика и физика на частиците

През 1938 г. немският учен Ото Хан, ученик на Ръдърфорд, бомбардира уран с неутрони, опитвайки се да получи трансуранови елементи. Вместо това в резултат получава химичния елемент барий. Година по-късно Лиза Майтнер и Ото Фриш потвърждават, че опитът на Хан е първото експериментално ядрено делене. През 1944 година, Хан получава Нобелова награда за химия, но въпреки неговите усилия, Майтнер и Фриш не получават същото признание.

По-нататъшният напредък на атомната физика се дължи основно на създаването през 50-те години на подобрени ускорители и детектори на частици, които позволяват на учените да изследват взаимодействията между атоми при високи енергии. Установява се, че неутроните и протоните са всъщност адрони и са съставени от още по-малки частици – кварки. Разработена е теорията, наречена Стандартен модел, която успешно обяснява не само свойствата на ядрото, но и електромагнитното, слабото и силното взаимодействие между всички елементарни частици [2].

Строеж

Субатомни частици

Първоначално терминът „атом“ означава частица, която не може да бъде разделена на по-малки части, в съвременната наука атомът се разглежда като съставен от различни субатомни частици. Обикновено атомите се състоят от електрони, протони и неутрони, но атомът на водород-1 не съдържа неутрони, а само протон и електрон, а водородният йон не съдържа и електрони.

Електронът е най-леката от тези субатомни частици с маса $9,11 \times 10^{-31}$ kg, отрицателен електрически заряд и размер, прекалено малък, за да бъде измерен с известните днес техники. Протоните имат положителен заряд и свободна маса, 1836 пъти по-голяма от тази на електроните ($1,6726 \times 10^{-27}$ kg).

Неутроните нямат електричен заряд, а свободната им маса е 1839 пъти по-голяма от тази на електроните ($1,6929 \times 10^{-27}$ kg). Неутроните и протоните имат сравними размери, около $2,5 \times 10^{-15}$ m, макар че тези частици нямат строго определена външна повърхност.

В Стандартния модел се приема, че електронът е истинска елементарна частица без вътрешна структура. Протоните и неутроните обаче са съставени от елементарни частици, наречени кварки. В атомите присъстват два вида кварки, като всеки от тях има различен дробен електричен заряд: $+2/3$ (горен кварк) или $-1/3$ (долен кварк). Протоните се състоят от два горни кварка и един долен кварк, а неутронът се състои от един горен кварк и два долни кварка. На това различие се дължат различните маса и заряд на двете частици.

Кварките са свързани помежду си от силното ядрено взаимодействие, чиито носители са глюоните. Глюонът е член на групата калибровъчни бозони – елементарни частици, които служат за преносители на фундаменталните физични сили. Протоните и неутроните от своя страна са свързани в ядрото от ядрената сила, действаща между адроните, която е остатъчен ефект от силното ядрено взаимодействие и има малко по-различен обхват на действие от него [3, 8].

Ядро

Всички протони и неутрони в атома образуват компактно атомно ядро, в което е съсредоточена 99% от масата на атома, и се наричат нуклеони. Радиусът на дадено ядро е приблизително равен на $r_0 A^{1/3}$, където с A е означен общият брой нуклеони. Тази стойност е много по-малка от радиуса на атома, който е от порядъка на 105 fm. Нуклеоните са свързани с помежду си с ядрени сили, които действат само на късо разстояние. При

разстояния, по-малки от 2,5 fm, те са по-големи от електростатичната сила, която кара положително заредените протони да се отблъскват един от друг.

Атомите на един и същ химичен елемент имат винаги еднакъв брой протони, наречен атомен номер. За даден елемент броят на неутроните може да варира, като различният брой определя различни изотопи на елемента. Общият брой на протоните и неутроните определя нуклида на атома. Отношението на броя на неутроните към броя на протоните определя стабилността на ядрото – изотопите с повече неутрони са по-неустойчиви, като някои от тях могат да претърпяват радиоактивен разпад.

Неутронът и протонът са различни видове фермиони. Принципът на Паули е ефект на квантовата механика, който не позволява еднакви фермиони, например няколко протона, да имат едно и също квантово физично състояние по едно и също време. Така всеки протон или неутрон в ядрото трябва да има различно квантово състояние с различно енергийно ниво от всеки друг протон или неутрон, но е възможно протон и неутрон да имат еднакво квантово състояние.

При атоми с малък атомен номер ядро с по-малко протони, отколкото неутрони, има възможност да слезе в по-нискоенергийно състояние чрез радиоактивен разпад, така че броят на протоните и неутроните да се сближи. В резултат на това атомите с приблизително равен брой протони и неутрони са по-устойчиви на радиоактивен разпад.

С нарастването на атомния номер взаимното отблъскване на протоните изисква все по-голям относителен брой неутрони да стабилизират ядрото. По тази причина при елементите с атомен номер, по-голям от 20 (калций), не съществуват стабилни ядра с равен брой протони и неутрони. С по-нататъшното нарастване на атомния номер отношението на неутроните към протоните, необходимо за достигане на стабилност, се увеличава до около 1,5.

Броят на протоните и неутроните в ядрото може да се променя, но това изисква много голямо количество енергия, поради силните ядрени сили. Процесът на увеличение на броя (ядрен синтез) протича, когато атомни частици се обединяват, образувайки по-тежко ядро, например при силен сблъсък на две ядра. Така при процесите в ядрото на Слънцето на протоните са необходими енергии от 3 – 10 keV, за да преодолеят взаимното си отблъскване и да се обединят в общо ядро. Противоположният процес се нарича ядрено делене – ядрото се разцепва на по-малки ядра, обикновено чрез радиоактивен разпад. Ядрото може да се променя и чрез бомбардирането му с фотони или субатомни частици с висока енергия. Ако при това броят на протоните в ядрото се променя, се получава друг химичен елемент [1, 4].

Ако масата на ядрото, образувано чрез ядрен синтез, е по-малка от сбора на масите на отделните частици, разликата може да бъде излъчена във

вид на енергия (като например гама лъчи или като кинетична енергия на бета частица), според формулата на Алберт Айнщайн за равенство на маса и енергия $E = mc^2$, където m е разликата в масите и c е скоростта на светлината. Тази разлика в масите е част от енергията на свързване на новото ядро и именно това, че не подлежи на възстановяване по естествен начин, е причина съединилите се частици да останат заедно.

Сливането на две ядра, при което се образува ядро на елементи с атомен номер, по-малък от този на желязо и никел (с общ брой нуклеони около 60), обикновено е екзотермична реакция, която освобождава повече енергия, отколкото е необходима за сливането им. Именно този процес на освобождаване на енергия прави процеса на термоядрен синтез в звездите самоподдържаща се реакция. При по-тежките ядра енергията на свързване на нуклеоните в ядрото започва да намалява с увеличаване на атомния номер. Това означава, че процесите на сливане, при които продуктите имат атомен номер над 26 и атомна маса над 60 е ендотермичен процес и се нуждае от външен източник на енергия. Тези по-масивни ядра не биха могли да осъществяват самоподдържащ се процес на ядрен синтез при хидростатичното равновесие във вътрешността на звездите.

Електронен облак

Потенциална яма: ако потенциалната енергия е $V(x)$, то частица с енергия E , по-малка от $V(x)$, се задържа в диапазона от положения между x_1 и x_2 .

Електроните в атома се привличат към протоните в ядрото от електромагнитна сила. Тя държи електроните в електростатична потенциална яма около ядрото, поради което за тяхното отделяне от него е необходим външен източник на енергия. Колкото по-близо до ядрото е разположен електронът, толкова по-голяма е привличащата го сила, а оттам и енергията, необходима за отделяне.

Електроните, както и другите частици, имат едновременно свойства на частица и вълна. Електронният облак е област от потенциалната яма, в която всеки електрон образува своеобразна триизмерна стояща вълна – вълнова форма, неподвижна спрямо ядрото. Това поведение се определя от атомната орбитала, математична функция, характеризираща вероятността електронът да се окаже на дадено място при измерване на положението му. Около ядрото съществува само дискретно (квантувано) множество от такива орбитали, тъй като останалите възможни вълнови форми са много нестабилни. Орбиталите може да имат структура и се различават една от друга по размер, форма и ориентация.

Вълнови функции на първите пет атомни орбитали. Всяка от трите 2p орбитали има възлова точка, която определя нейната ориентация, и минимум в центъра.

Всяка атомна орбитала съответства на определено енергийно ниво на електрона. Електронът може да премине към по-високо енергийно ниво, поглъщайки фотон с достатъчна енергия, за да го премести в ново квантово състояние. По подобен начин, при спонтанно излъчване на фотон електронът може да се премести на по-ниско енергийно ниво. Тези специфични енергийни стойности, съответстващи на енергиите на квантовите състояния, са причината за атомните спектрални линии.

Количеството енергия, необходимо за отделяне или добавяне на електрон – енергията на свързване, е много по-малко от съответното количество енергия за нуклеоните. Например, отделянето на електрон от водороден атом изисква само 13,6 eV, докато за разделянето на ядро на деутерий са нужни $2,23 \times 10^6$ eV.

Атомите нямат електричен заряд, когато съдържат еднакъв брой протони и електрони. Атоми, които имат недостиг или излишък на електрони се наричат йони. Електроните, най-отдалечени от ядрото, могат да преминават към други близко разположени атоми или да се споделят между повече от един атом. По този начин атомите могат да се свързват в молекули и други химични съединения, като например кристали [2, 7, 11].

Ядрени свойства

По дефиниция всеки два атома с еднакъв брой протони принадлежат на един и същ химичен елемент. Атоми с еднакъв брой протони, но с различен брой неутрони и съответно различни масови числа, се наричат изотопи на този химичен елемент. Например всички водородни атоми имат по един протон, но съществуват изотопи без неутрон (водород-1 или протий – най-често срещаният изотоп), с един неутрон (деутерий), с два неутрона (третий), както и изотопи с повече неутрони. Известните химични елементи образуват поредица от атомни номера, съответстващи на от един при водорода до 118 протона при елемента унуноктий. Всички известни изотопи на елементите с атомни номера над 82 са радиоактивни.

В естествен вид на Земята се срещат около 339 нуклида, сред които при 254 (около 75%) не е наблюдаван разпад, поради което се наричат „стабилни изотопи“. От тях обаче само 90 са истински стабилни, докато останалите теоретично могат да се разпаднат. Други 34 радиоактивни нуклида имат период на полуразпад над 80 милиона години, т.е. те са достатъчно устойчиви, за да съществуват от времето на образуване на Слънчевата система. Тази набор от 288 сравнително устойчиви нуклида е известен като „първични нуклиди“. Останалите 51 нуклида с по-къс живот се срещат в природата като продукти на разпад на първичните нуклиди (например, радий образуван при разпада на уран) или като продукти от естествени процеси като бомбардирането на Земята с космически лъчи (например, въглерод-14) [3, 5].

За 80 от химичните елементи съществува поне един стабилен изотоп. Като правило общият брой стабилни изотопи за всеки елемент не е голям (средно 3,2). Двадесет и шест елемента имат само по един стабилен изотоп, докато най-голям брой стабилни изотопи за един елемент има калаят – общо 10. Елементите технеций с номер 43, прометий с номер 61 и всички елементи с номер по-голям или равен на 83 (бисмут) не притежават стабилни изотопи.

Маса

Масата на атома е съсредоточена в протоните и неутроните и общият им брой в даден атом се нарича негово масово число. Действителната масата на атома в покой често се изразява в единици за атомна маса (u), наричана също далтон (Da). Тази единица се дефинира като една дванадесета от масата на свободен неутрален атом на въглерод-12 (^{12}C), която е приблизително $1,66 \times 10^{-27}$ kg. Атомът на най-лекия изотоп на водорода протий (1H), който е и атомът с най-малка маса, има атомно тегло 1,007825 u . Всеки атом има маса, приблизително равна на произведението на масовото му число и единицата за атомна маса. Най-тежкия стабилен атом е този на олово-208, с маса около 207,9766521 u .

Тъй като и най-тежките атоми са с много малка маса, за практически цели химиците използват единицата за количество вещество мол. По дефиниция един мол атоми съдържа винаги един и същ брой атоми, независимо от химичния елемент – $6,023 \times 10^{23}$. Този брой е избран така, че ако един елемент има атомна маса от 1 u , то един мол атоми от този елемент ще тежи приблизително един грам. Така от дефиницията на единица за атомна маса пряко следва, че въглерод-12 има атомна маса точно 12 u , а мол въглеродни атоми тежи точно 12 грама.

Размер и форма

Макар че атомите нямат рязко очертана външна граница, обикновено размерът им се оценява с величина, наричана атомен радиус. Той е мярка за разстоянието от ядрото, до което може да се разпростре електронният облак. Това понятие обаче предполага сферична форма на атома, което е валидно само за атоми във вакуум или в напълно свободно пространство. Атомният радиус може да се оцени чрез разстоянието между ядрата на два атома, свързани чрез химична връзка. Това разстояние варира според атомния номер, вида на химичната връзка, броя на съседните атоми (координационно число) и квантовомеханичното свойство спин. В Периодичната система атомният радиус обикновено нараства в посока надолу по колоните, но в един и същи ред намалява от ляво надясно. Следователно, най-малкият атом е хелий с радиус от 32 pm, докато един от най-големите е цезий с 225 pm.

В присъствие на външни полета, като електрично поле, формата на атома може да се отклонява от сферичната. Деформираността зависи от силата на полето и вида на външната електронна обвивка и може да се определи с математическия апарат на теория на групите. Отклонения от сферичната форма се наблюдават например при кристалите, при които в зоните на ниска симетрия на кристалната решетка могат да възникнат интензивни електрични полета. Значителни деформации във вид на елипсоиди са наблюдавани при йони на сярата в съединения от типа на пирит [1, 11].

В сравнение с дължината на вълната на светлината във видимия спектър (400 – 700 nm) атомите са много малки и затова не могат да бъдат наблюдавани директно с оптичен микроскоп. Отделни атоми могат обаче да се наблюдават със сканиращ тунелен микроскоп. За да се онагледят малкият размер на атома, може да се използва сравнението с човешки косъм: той е дебел около 1 милион въглеродни атома. Капка вода съдържа около 2×10^{21} атома кислород и два пъти повече атоми водород. Един карат диамант с маса от 2×10^{-4} kg съдържа около 1022 атома въглерод. Ако си представим една ябълка с размера на Земята, тогава атомите на ябълката биха били приблизително с размера на истинска ябълка.

Радиоактивен разпад

Всеки химичен елемент има поне един изотоп с нестабилно ядро, претърпяващо радиоактивен разпад, при което продуктите на разпада са частици или електромагнитно излъчване. Такава радиоактивност се наблюдава, когато радиусът на ядрото е по-голям от силата на силно ядрено взаимодействие, която действа на разстояния от порядъка на 1 fm.

Най-често срещаните разновидности на радиоактивен разпад са:

- Алфа-разпад – спонтанно разпадане на атомното ядро, вследствие на което се получават дъщерно ядро и α -частица (ядро на ${}^4\text{He}$, съставено от два протона и два неутрона). Алфа разпадът е характерен за тежките ядра, с масово число $A \geq 140$, а резултатът от него е нов елемент с по-нисък атомен номер.

- Бета-разпад – подчинява се на силите на слабо ядрено взаимодействие и при него настъпва превръщане на неутрон в протон или обратно. В първия случай се отделя електрон (с отрицателен заряд) и антинеутрино, а във втория – позитрон (с положителен заряд) и неутрино. Отделяните електрони или позитрони се наричат β -частици и имат по-голяма проникваща способност. Отделянето на бета частица води до промяна на атомния номер на химичния елемент с единица.

- Гама-разпад – промяна на енергийното състояние на ядрото чрез изпускане на гама-лъчи, която съпътствува алфа и бета разпада.

Други по-редки видове радиоактивен разпад са изхвърлянето от ядрото на неутрони, протони, групи нуклеони или повече от една β -частица и формирането на високоенергийни електрони, които не са β -лъчи, или високоенергийни протони, които не са γ -лъчи.

Всеки радиоактивен изотоп се характеризира със скоростта на разпад, измервана чрез периода на полуразпад – времето, необходимо за разпад на половината (50%) от разглеждания образец. Процесът е експоненциален и скоростта му намалява като след един период на полуразпад остават 50% от изходните атоми, след два периода на полуразпад остават 25% и т.н [1, 2].

Магнитен момент

Елементарните частици притежават вътрешна квантова характеристика, нямаща еквивалент в класическата механика – спин. Тя е аналогична на момента на импулса на тяло, въртящо се около своя център на масите, макар че строго погледнато тези частици се разглеждат като точки и не могат да се въртят. Спинът се измерва в единици редуцирана константа на Планк (\hbar), като електроните, протоните и неутроните имат полуцял спин $\frac{1}{2} \hbar$. В атома движещите се около ядрото електрони освен спин притежават и орбитален „момент на импулса“, измерван с орбиталното квантово число, докато самото ядро също притежава спин.

Атомът притежава свое магнитно поле, наричано магнитен момент, което е получено от тези различни видове спин, точно както едно класическо електрически заредено тяло при въртене произвежда магнитно поле. Поради това, че електроните се подчиняват на принципа на Паули, според който два електрона не могат да се намират в едно и също квантово състояние, в една атомна орбитала може да има най-много два електрона, но с противоположни спинове. Така тези спинове се неутрализират и общият диполен магнитен момент в някои атоми с четен брой електрони става нула.

В някои атоми с нечетен брой електрони (например на феромагнитните елементи като желязо) се съдържат несдвоени електрони и поне един некомпенсиран спинов магнитен диполен момент. Орбиталите на съседно разположени атоми се припокриват и състоянието с най-ниска енергия е онова, при което спиновете на несдвоените електрони успоредни. Този ефект се нарича обменно взаимодействие. При това подреждане на магнитните моменти на атомите се получава измеримо по големина собствено магнитно поле. Парамагнитните материали имат атоми със собствен магнитен момент, който под действието на външно поле се ориентира по посока на полето и така създават резултантно поле, превишаващо външното. В отсъствието на външно магнитно поле обаче собствените магнитни моменти на атомите са ориентирани напълно хаотично поради топлинното движение.

Ядрото на атома също има спин различен от нула. При нормални условия тези ядра са ориентирани хаотично, но някои изотопи с нечетен брой протони (например, ксенон-129) притежават спин, който при определени условия може да бъде ориентиран в една посока. Това свойство намира важно практическо приложение в магнитно-резонансната томография [3, 11].

Енергетични нива

Когато електронът е в свързано състояние в атома, неговата потенциална енергия е обратно пропорционална на разстоянието му до ядрото. Експериментално тя се измерва като енергията, необходимо за откъсване на електрона от атома, най-често изразена в единици електронволт (eV). В квантовомеханичния модел свързаният електрон може да заема само определен набор от състояния около ядрото и всяко състояние съответства на определено енергийно ниво. Състоянието на свързания електрон с най-ниска енергия се нарича основно състояние, а всяко състояние с по-висока енергия се нарича възбудено състояние.

Преминаването на електрон от едно в друго състояние става с излъчване или поглъщане на фотон с енергия, равна на разликата в енергиите на двете състояния. Тъй като енергията на излъчения (погълнатия) фотон е пропорционална на неговата честота, тези разлики в енергията се регистрират като специфични линии в електромагнитния спектър. [Всеки химичен елемент има характерен спектър, който зависи от множество фактори: заряд на атомното ядро, степен на запълване на електронните подслоеве, наличие на електромагнитни взаимодействия между електроните и други фактори.

При преминаването на електромагнитна вълна с непрекъснат спектър на енергията през газ или плазма, някои от фотоните се поглъщат от атомите, изменят енергийните нива на някои електрони и ги възбуждат. Тези възбудени електрони остават свързани в атома, но започват спонтанно да излъчват светлина, за да се върнат на по-ниско енергийно ниво. Процесът се нарича спонтанна емисия. Спектърът на излъчената светлина (т.е. ако е възможно да се изолира само емисионният спектър от възбудените атоми) и по-точно дължината на вълната, яркостта и ширината на тези спектрални линии позволяват да се получи информация за състава и физическите свойства на газа или плазмата (метод на емисионната спектроскопия). Ако се наблюдава спектърът на преминалата вълна, той вече не е непрекъснат, а в него се забелязват поредици от тъмни (абсорбционни) линии, защото така възбудените електрони поглъщат определени честоти и действат като филтър на енергия. Това е принципът на действие на абсорбционната спектроскопия

При по-близко изучаване някои емисионни спектрални линии се оказват съставени от отделни компоненти. Това се дължи на спин-орбиталното взаимодействие между спина и движението на най-външния електрон. Когато атомът е поставен в магнитно поле, спектралните линии се разделят на три или повече компонента. Това явление, известно като ефект на Зеeman, се дължи на взаимодействието между приложеното външно магнитно поле и магнитния момент на атома и неговите електрони. Някои атоми могат да имат повече от една електронна конфигурация с едно и също енергийно ниво, които образуват обща спектрална линия. Външното магнитно поле измества електронните конфигурации в леко различаващи се енергийни нива, разделяйки по този начин спектралната линия на няколко компоненти. Присъствието на външно електрично поле също може да доведе до подобно разцепване и леко изместване на спектралните линии – този ефект се нарича ефект на Щарк.

Ако свързан електрон се намира във възбудено състояние и погълне фотон с подходяща енергия, може да настъпи и стимулирана емисия на фотон със същата енергия. За тази цел енергията на падащия фотон трябва да е точно равна на разликата между възбуденото и по-ниското енергийно състояние на електрона. При прехода електронът излъчва фотон със същата фаза, честота, поляризация и посока като погълнатия фотон. Това свойство се използва за направата на лазери, които произвеждат монохроматична, кохерентна, насочена светлина [11].

Валентност и химична връзка

Най-външният електронен слой на атома в несвързано състояние е известен като валентен слой и електроните в него се наричат валентни електрони. Техният брой определя характера на химичната връзка, защото при химична реакция атомите се стремят да запълват валентния слой. Например при съединението натриев хлорид (и други йонни соли) химичната връзка се осъществява чрез обмен на електрон между атом с един електрон във валентния слой (Na) и атом с един недостигащ електрон във валентния слой (Cl). Много от химичните елементи обаче имат няколко валентности или участват с различен брой електрони в различни химични съединения. В тези случаи химичната връзка е с много по-сложен механизъм на споделяне на електроните. Пример за такива сложни връзки е участието на въглерода в органичните съединения.

В Периодичната система химичните елементи с една и съща валентност образуват една група на периодичната система, която се изобразява като една колона в таблицата. Хоризонталните редове се наричат периоди и отразяват постепенното запълване на валентния слой с електрони. Елементите, които са най-вдясно на таблицата, имат запълнен валентен слой

и това се отразява на химичните им свойства – те са известни като инертни газове.

Състояния

Групи от много атоми могат да съществуват в различни агрегатни състояния в зависимост от физическите условия като температура и налягане. При промяна на условията, веществата могат да преминават от едно агрегатно състояние в друго: твърдо тяло, течност, газ и плазма. В рамките на едно агрегатно състояние е възможно даден материал да съществува в няколко алотропни форми, например въглеродът може да се срещне като графит или диамант.

При температури близки до абсолютната нула атомите могат да образуват Бозе-Айнщайнова кондензация, при което в макроскопичен мащаб започват да се проявяват квантовомеханичните ефекти, които иначе се наблюдават само в микроскопичен мащаб. При това явление целият свръхохладен ансамбъл от атоми започва да се държи като един „свръхатом“, което позволява да се правят наблюдения на квантовомеханичното му поведение.

Образуване и съвременно състояние

Атомите образуват около 4% от общата енергийна плътност на наблюдаемата Вселена при средна плътност около 0,25 атома на кубичен метър. Вътре в галактиките, например в нашия Млечен път, атомите имат много по-голяма концентрация – между 10⁵ и 10⁹ атома на кубичен метър в междузвездната среда. Смята се, че Слънцето е разположено в Местния мехур, област от силно йонизиран газ, поради което плътността на атомите около него е едва 10³ атома на кубичен метър. Звездите се образуват от плътни облаци в междузвездната среда и тяхната еволюция води до постоянно обогатяване на междузвездната среда с атоми, по-масивни от тези на водорода и хелия. До 95% от атомите в Млечния път са концентрирани във вътрешността на звездите. Общата маса на атомите формира около 10% от масата на галактиката, а остатъкът е съставен от т.нар. тъмна материя [1, 10].

Нуклеосинтез

Смята се, че първите устойчиви протони и електрони възникват около една секунда след Големия взрив. През следващите три минути нуклеосинтезът създава по-голямата част от ядрата на хелия, лития и деутерия във Вселената, а може би и част от ядрата на берилия и бора. Първите атоми със свързани електрони теоретично възникват 380 хиляди години след Големия взрив, по време на епохата на рекомбинация, когато

разширяващата се Вселена се охлажда достатъчно, за да позволи прикрепването на електроните към ядрата.

След Големия взрив, при който не се формира въглерод, атомните ядра продължават да се съчетават в звездите при процесите на ядрен синтез и по този начин се образува още хелий, а чрез тройната хелиева реакция и поредицата елементи от въглерод до желязо. Изотопи като литий-6, както и известни количества берилий и бор, се образуват и в космоса под действието на космическите лъчи. Това става, когато високоенергиен протон се сблъска с атомно ядро, предизвиквайки изхвърлянето на голям брой нуклеони.

Елементите, по-тежки от желязото, се образуват в свръхновите чрез r-процес и в звездите от асимптотичния клон на гигантите чрез s-процес – и двата начина включват поглъщането на неутрони от атомното ядро. Някои елементи, като оловото, се образуват главно чрез радиоактивен разпад на по-тежки елементи.

На Земята

Основната част от атомите, които съставляват Земята и нейните обитатели, са съществували в сегашната си форма в мъглявината, колабирала от молекулярен облак, за да образува Слънчевата система. Останалите са резултат от радиоактивен разпад и тяхното относително съотношение може да се използва, за да се определи възрастта на Земята чрез радиоактивно датирание. По-голямата част от хелия в земната кора (около 99% от хелия от газодобивни кладенци) е резултат от алфа разпад, което личи от по-малката концентрация на изотопа хелий-3.

На Земята се срещат и малки количества атоми, които не са присъствали при формирането на планетата и не са резултат от радиоактивен разпад. Космическите лъчи постоянно създават въглерод-14 в атмосферата. Някои атоми на Земята са изкуствено създадени, умишлено или като страничен продукт от работата на ядрени реактори или от ядрени експлозии. Сред трансурановите елементи, тези с атомен номер по-голям от 92, само плутоният и нептуният се срещат на Земята в природата. Трансурановите елементи имат период на радиоактивен полуразпад, много по-малък от възрастта на Земята, поради което евентуални разпознаваеми количества от тях отдавна са се разпаднали, с изключение на следи от плутоний-244, които може би са отложени с паднал на планетата космически прах. Естествените залежи от плутоний и нептуний са образувани чрез поглъщане на неутрони в уранови руди.

Земята съдържа приблизително $1,33 \times 10^{50}$ атома. В атмосферата на планетата присъстват малък брой самостоятелни атоми на благородни газове, като аргон и неон. Останалите 99% от атомите в атмосферата са свързани под формата на молекули, като въглероден диоксид и двуатомен кислород и азот. На земната повърхност атомите се съчетават в различни

съединения, като вода, сол, силикати и оксиди. Атомите могат да се съчетават и в материали, които не се състоят от обособени молекули, например в кристали и течни или твърди метали. Тази атомна материя формира мрежови структури, при които липсва свързваната с молекулярната материя дребномащабна прекъснатост [2, 9].

Редки и теоретични форми

Като цяло елементите с атомен номер, по-голям от този на оловото (82), са радиоактивни, но съществува хипотеза за съществуването на своеобразен „остров на стабилност“, съставен от някои елементи с атомен номер над 103. Тези свръхтежки елементи може би имат ядро, относително устойчиво на радиоактивен разпад. Най-вероятният кандидат за устойчив свръхтежък атом, този на елемента унбихексий се очаква да има 126 протона и 184 неутрона.

Всяка частица материя има съответстваща частица антиматерия, която има противоположен електрически заряд. Така позитронът е положително зареден антиелектрон, а антипротонът е отрицателно зареден еквивалент на протона. При взаимодействие на материя и съответната ѝ антиматерия те се анихилират. По тази причина, както и заради неравновесието между материални и антиматериални частици, последните са редки във Вселената. В резултат на това не е известно наличието в природата на антиматериални атоми. Въпреки това през 1996 година в лабораторията на ЦЕРН в Женева успешно е синтезиран антиводород, антиматериален еквивалент на водорода.

Други необичайни атоми са синтезирани чрез замяната на един от протоните, неутроните или електроните с други частици, които имат същия електрически заряд. Например, отделен електрон може да бъде заменен с по-масивния мюон, образувайки мюонен атом. Такива атоми могат да бъдат използвани за проверка на фундаменталните предвиждания на физиката.

Използвана литература:

1. Уилямс, У. С. С. Физика на ядрото и елементарните частици. София, УИ „Климент Охридски“, 2000.
2. Брукат, Филип. Статия - „Квантовият Атом”. Учен от Университет от Флорида, 2008
3. Лефтеров, Димитър. Химичните елементи и техните изотопи. Издателство на БАН „Проф. Марин Дринов“, 2015. ISBN 987-954-322-831-7. с. 451 – 452.
4. Долчинков Н. Т., Н. Озерова, Влияние на тежките метали върху околната среда, Сборник доклади от научна конференция „Радиационната безопасност в съвременния свят“, НВУ „В. Левски“- гр. В. Търново – 22 ноември 2019 г ISBN 2603-4689;

5. Dolchinkov, N., B. Karaivanova-Dolchinkova, Radiation effect on human and living nature. International scientific journal: Science. Business. Society 5. 2016. стр. 59-61.;

6. Dolchinkov N. Radiation safety of Bulgaria in the contemporary international situation, Security and defence Quarterly No 4(13)2016, War Studies University, Warsaw, Poland, стр 3-14;

7. Dobrev, L., Nonova, T. Determination of uranium content in ammonium uranyl carbonate (AUC) and triuranium octoxide (U₃O₈). J Radioanal Nucl Chem 326, 1543–1550 (2020). <https://doi.org/10.1007/s10967-020-07471-4>, Electronic ISSN 1588-2780, Print ISSN 0236-5731;

8. Dolchinkov N. T., Characteristics of radiation and sources of radiation as a result of human activity, International scientific journal: Industry 4.0 Issue 6, 2/2017, december 2017, стр. 279-283, ISBN 2535-0153;

9. Dolchinkov N. T., Sources of natural background radiation, Security and Defence, №3 (16) 2017 War Studies University, Warsaw, Poland, p. 40-51, ISSN: 2300-8741, DOI.org/10.35467/SDQ/103183;

10. <https://www.vesti.bg/sviat/>

11. <https://bg.wikipedia.org/wiki/>

Адрес за кореспонденция:

*Мария Йорданова Ангелова, студент, НВУ „Васил Левски”
катедра „Защита на населението и инфраструктурата”
E-mail: mim_007@abv.bg*

**Сборник доклади от научна конференция
„Радиационната безопасност в съвременния свят”
Том 1**

Технически редактор:
доц. д-р инж. Николай Долчинков

ISSN 2738-7607 Print
ISSN 2603-4689 CD

Издателски комплекс на НБУ „Васил Левски”
2022 г.