

В. В. Левенець¹, О. Ю. Лонін^{1,*}, О. П. Омельник¹, А. О. Щур¹, Г. В. Простантінов²¹ Національний науковий центр «Харківський фізико-технічний інститут», Харків, Україна² Товариство з обмеженою відповідальністю «Лайввелл Груп», Київ, Україна

*Відповідальний автор: a_lonin@kipt.kharkov.ua, a_lonin@ukr.net

**ВИЗНАЧЕННЯ ДЕЗАКТИВУЮЧИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ШАМПУНІВ
ДО ЦЕЗІЮ, СТРОНЦІЮ ТА КОБАЛЬТУ**

Проведено дослідження дезактивуючих властивостей шампунів відносно цезію, стронцію і кобальту. Розроблено методику визначення дезактивуючих властивостей шампунів. Хімічна частина дослідження передбачає підготовку волосся, що складається з примусового забруднення і подальшого миття. У роботі було використано стабільні ізотопи. Це дало змогу підвищити безпеку персоналу при проведенні хімічних досліджень волосся. Аналітична частина включає кількісне визначення цезію, стронцію і кобальту у волосі, що здійснювалося методом Particle-Induced X-ray Emission (PIXE) з використанням аналітичного ядерно-фізичного комплексу «Сокіл». У ході досліджень розглядалися різні зразки шампунів, які присутні на ринку України. Установлено, що кращі дезактивуючі властивості для цезію ($K_d - 574,0$) і незначні дезактивуючі властивості для стронцію ($K_d - 3,1$) і кобальту ($K_d - 3,6$) має шампунь ТМ «Рінго». Установлено, що при мультиізотопному забрудненні (суміші ізотопів цезію, стронцію і кобальту) спостерігалось зниження коефіцієнта дезактивації для всіх ізотопів, що обумовлено фактором конкуренції ізотопів у процесі комплексування шампунем. Зниження дезактивуючих властивостей спостерігалось на всіх зразках шампунів.

Ключові слова: дезактивуючі властивості, коефіцієнт дезактивації, цезій, стронцій, кобальт, метод PIXE.

1. Вступ

Одним з напрямків розвитку сучасної атомної енергетики є підвищення безпеки персоналу та осіб, які проживають поблизу ядерних об'єктів. Одним із факторів, що забезпечують безпеку персоналу, є дезактивація шкіри і волосся. Для знезараження персоналу використовуються різноманітні знезаражувальні засоби та дезактивуючі шампуні. До дезактиваторів відносяться миючі засоби та шампуні, що зменшують кількість радіонуклідів на поверхні людського тіла і волосся. Для дезактивації волосся використовуються шампуні, що містять дезактивуючі компоненти. Слід мати на увазі, що забруднення волосся відбувається не одним радіонуклідом, а сумішшю радіонуклідів. Механізм дезактивації полягає в спроможності компонентів шампунів створювати комплекси з ізотопами, які потім змиваються з поверхні волосся. При цьому комплексоутворюючі засоби не повинні бути токсичними, а отримані комплекси повинні легко змиватися з людської волосини. До таких комплексних засобів відносяться: альгірати [1] і пектини [2]. Також волосся можна обробити звичайним шампунем з додаванням 3 % лимонної кислоти. Лимонна кислота використовується як комплексоутворюючий засіб. Крім лимонної кислоти, як комплексного засобу, можуть використовуватися гексаметофосфат натрію, трилон Б

(органічна сполука, натрієва сіль етилендіамінтетраоцтової кислоти, добре розчиняється у воді), щавлева кислота, фторова кислота [3].

Найчастіше забруднення волосся відбувається такими радіонуклідами як: ^{137}Cs , ^{90}Sr і ^{60}Co [4]. Тому дезактивуючі агенти повинні однаково ефективно взаємодіяти з усіма радіонуклідами.

Крім того, для дезактивації волосся використовуються шампуні, що мають у своєму складі іоногенні структури. До таких структур відносяться такі аніоноактивні речовини:

- солі більш високих жирних кислот - RCONE;
- солі сульфатів нормальних первинних аліфатичних спиртів (алкілсульфатів) - ROSON;
- солі сульфонових кислот алкілалізованих ароматичних вуглеводнів (алкілбензол сульфаніатів) - RCONOSOO;
- солі аліфатичних сульфаноїлової кислоти (алкілсульфонати) (алкіл-сульфаніатів) – RSOONA.

У складі миючих засобів також містяться спеціальні добавки для поліпшення їхніх миючих властивостей і надання товарного вигляду. Добавки можна розділити на дві групи: солі неорганічних кислот і органічні добавки. Як добавки використовуються:

- нейтральні солі сильних неорганічних кислот, в основному NaS і NaCl;
- лужні солі слабких кислот (NaOSO, силікати натрію різних складів, NaOPO тощо);
- комплексні фосфати.

Усі солі неорганічних кислот підвищують здатність шампунів до адсорбції, емульгації і знижують критичну точку міцелоутворення. Слід врахувати, що солі діляться на кислі, нейтральні і лужні. Кислі солі негативно впливають на адсорбційні процеси. Це пов'язано із вмістом катіону металу і катіону водню в солі, що призводить до створення кислого середовища і знижує адсорбцію. Нейтральні солі неорганічних кислот додатково не вводяться до складу миючих засобів, оскільки утворюються у вигляді супутніх технологічних домішок. Лужні солі слабких неорганічних кислот при гідролізі створюють лужне середовище, що сприяє видаленню маслянистих забруднень.

Важливою властивістю складних фосфатів є здатність утворювати складні сполуки з катіонами лужної землі і важких металів. Це призводить до пом'якшення води, розчинення карбонатів кальцію і кальцієвого мила. Для знезараження це має позитивне значення, оскільки радіоізотопи лужної землі і важких металів пов'язані складними фосфатами в розчинний комплексний аніон, що видалається з оброблюваної поверхні разом з дезактивуючим розчином.

Аналіз українського ринку дезактивуючих засобів свідчить про те, що, на жаль, в Україні не існує законодавчо визначених вимог до дезактивуючих засобів. Параметри дезактивації не визначаються у технічній документації, а реєстрація засобу відбувається відповідно до вимог обраної розробником форми (миючий засіб, дезактивуючий шампунь, дезактивуючий засіб для персоналу). Відсутність чітких вимог та небезпека використання радіоактивних матеріалів для аналізу значно звужують кількість виробників дезактивуючих засобів. В Україні виробництвом дезактивуючих засобів займаються різні підприємства, у тому числі підприємства, що співпрацюють з ДП НАЕК «Енергоатом». До таких підприємств можна віднести ЗАТ «Енергохім», що виробляє засіб дезактивуючий для рук «Щит-Р», а також ТОВ «ІКАР», яке виробляє дезактивуючі засоби для рук «Бар'єр-Р» та «Селан». З дезактивуючих шампунів найбільше застосування знайшов шампунь «Ліана-2». За кордоном для дезактивації використовуються різні засоби, що використовуються як у ядерній енергетиці, так і у військових цілях (для дезактивації зброї та військових). Найбільш відомим є комплект для проведення комплексної дезактивації RadDecon Kit™ (США) [5].

При розробці методики вивчення дезактивуючих властивостей шампунів було проведено аналіз існуючих методик [1, 2]. Головним недоліком цих методик є відсутність контакту ізотопів безпосередньо з волоссям, а присутній тільки кон-

такт із забруднюючим розчином. Це значно знижує достовірність застосування шампуню для дезактивації волосся, бо відсутня інформація про можливість шампуню змивати ізотопи з волосся та утворювати комплексні сполуки.

При визначенні дезактивуючих властивостей шампунів у роботі використовувалися стабільні ізотопи цезію, стронцію і кобальту. Такі дії пов'язані з тим, що комплексування компонентів шампуню й ізотопів здійснюється за рахунок взаємодії сил Ван-дер-Ваальса. У цьому випадку сили Ван-дер-Ваальса визначаються слабкими електромагнітними взаємодіями, що характеризуються орієнтаційними силами, дисперсійним тяжінням та індукційною напругою [6]. При розгляді різних ізотопів одного елемента необхідно враховувати, що заряд ядра залишається незмінним. Це пояснюється тим, що кількість протонів у ядрі не змінюється. Змінюється кількість нейтронів [7]. Тому істотної зміни сил Ван-дер-Ваальса, що описують взаємодію різних ізотопів одного елемента з комплексно-формуючими компонентами шампуню, спостерігатися не буде.

Кількісне визначення цезію, стронцію і кобальту здійснювалося методом Proton Induced X-ray Emission (PIXE). Метод заснований на кількісному визначенні цезію, стронцію і кобальту детектуванням характеристичного рентгенівського випромінювання (х.р.в.) атомів, збуджених пучком протонів. Метод дає можливість зберігати мішені цілими для повторного аналізу. Для реєстрації х.р.в. використовували L-серії цезію, K-серії кобальту і K-серії стронцію. Метою роботи було визначення дезактивуючих властивостей шампунів до різних радіонуклідів з метою подальшої оцінки та ефективного застосування шампунів на підприємствах атомної енергетики для забезпечення безпеки персоналу підприємств.

2. Методика експерименту

Об'єкти дослідження. У роботі використовували нефарбоване чоловіче волосся певної довжини – вимоги до волосся відповідали профілю співробітників підприємств атомної енергетики. Довжина волосся була не менше 15 мм. У ході дослідження були використані наважки волосся по 2,00 г. У роботі використовували стабільні ізотопи. Як дослідні речовини були задіяні нітрати цезію, стронцію та кобальту. З них готувалися розчини для забруднення волосся. Як розчинник була застосована дистильована вода. Досліджувалось як забруднення волосся індивідуальними ізотопами, так і їхньою сумішшю в пропорціях, що можливі в атомній енергетиці.

Метою досліджень було визначення хімічної взаємодії компонентів шампунів із забруднюю-

чими іонами з додаванням до експериментів біологічних матеріалів у вигляді волосся, що суттєво відрізняє запропоновану методику від існуючих хімічних методів визначення дезактивууючих властивостей шампунів.

Як об'єкти досліджень було розглянуто такі шампуні:

1. Шампунь ТМ «Рінго» (ТОВ «Лайвелл груп»), що містить у своєму складі: натрію лауретсульфат, кокамідопропілбетаїн, діетаноламід кокосових жирних кислот, екстракт ехінацеї пурпурової, D-пантенол, пектин низькоетерифікований, трилон Б, натрію хлорид, бензиловий спирт, хлорометилізотіазолінон, метилізотіазолінон, парфумерну композицію.

2. Шампунь реп'яховий ТМ «Сто рецептів краси» (ТОВ «Інтерфіл»), що містить у своєму складі: натрію лауретсульфат, хлорид натрію, кокамідопропілбетаїн, екстракт мильного горіха, екстракт листя шовковиці, реп'яхову олію, екстракт плодів шипшини, олію сої, гліцерин, лимонну кислоту, бензоат натрію, хлорометилізотіазолінон, метилізотіазолінон, парфумерну композицію.

3. Дитячий шампунь (ТОВ «Пірана»), що містить у своєму складі: натрію лауретсульфат, кокамідопропілбетаїн, хлорид натрію, екстракт ромашки, гліцерин, бензоат натрію, хлорометилізотіазолінон, метилізотіазолінон, парфумерну композицію. До дитячого шампуню додатково додавали лимонну кислоту в кількості 0,3 г на 100 мл шампуню. Лимонна кислота була введена до складу як додатковий фактор комплексотворення.

Шампунь ТМ «Рінго» (ТОВ «Лайвелл груп»), як стверджується виробником, має дезактивууючі властивості за рахунок уведення до складу шампуню пектину. Шампунь з реп'яха ТМ «Сто рецептів краси» (ТОВ «Інтерфіл») містить у своєму складі компоненти, які можуть давати дезактивууючий ефект (лимонна кислота, екстракт плодів шипшини, який містить пектин). Дитячий шампунь (ТОВ «Пірана») був модифікований додаванням лимонної кислоти, яка сприяє дезактивації.

Підготовка зразків. Для визначення дезактивууючих властивостей шампуню було підготовлено три зразки волосся, по 2,00 г кожний. Один зразок не був забруднений і показував природний рівень ізотопів (цезію, стронцію і кобальту). Два зразки волосся було поміщено у випарні чашки. Розчин, що містить ізотопи, було додано до зразків частинами в об'ємі 30 мл. При цьому, розчин покривав усю площу волосся, змочуючи його по всьому об'єму. Волосся залишали у розчині на 5 год за кімнатної температури, для проникнення ізотопів до структури волосся. Після цього випа-

рні чашки поміщали в терморегулятор (терморегулятор ТК-80М-2) для сушіння волосся при температурі 50 °С. Після висушування волосся не підлягало додатковій обробці дистильованою водою. Після висихання один зразок волосся промивали шампунем. Для миття був приготований розчин, що складався з 30 мл шампуню і 70 мл дистильованої води. Зразок волосся інтенсивно змішували з розчином шампуню. Потім волосся відокремлювали від розчину фільтрацією. Після фільтрації волосся промивали 50 мл дистильованої води. Додатково додавання води імітує промивання волосся після миття для кращого виділення з поверхні волосся комплексних сполук, що утворюються ізотопами та компонентами шампунів. Волосся сушили за температури 50 °С в терморегуляторі (ТК-80М-2).

Підготовка мішеней. Підготовка мішені для методу PIXE вимагала вирішення таких питань: електропровідність об'єктів, здатність витримувати температурний ефект пучка протонів з енергією $E_p \approx 1600$ кеВ і середнім струмом $I_p \approx 20$ нА. Тому мішені з цілого волосся були підготовлені за такою методикою:

виготовлялася алюмінієва форма (що складалася з диску та кільця);

волосся наносилося на стандартне алюмінієве кільце із зовнішнім діаметром 10,5 мм і внутрішнім діаметром 8 мм;

зверху волосся фіксувалося алюмінієвим диском діаметром 8 мм;

диск спресовувався в прес-формі при дуже низькому тиску (~ 5 кг/см²);

зайве волосся потім зрізалось.

Аналітичне визначення вмісту цезію, стронцію та кобальту. Аналітична частина роботи виконувалася на аналітичному ядерно-фізичному комплексі (АЯФК) «Сокил» [8] (рис. 1).

Збудження атомів цезію, стронцію і кобальту здійснювалося пучком протонів з енергією $E_p \approx 1600$ кеВ, середнім струмом $I_p \approx 20$ нА. Опромінення зразків відбувалося у вакуумі за тиску 10 - 4 Па. Реєстрація збудженого х.р.в. атомів цезію L-серії і кобальту K-серії проводилася за допомогою рентгенівського детектора XR-100CR Si-PIN з роздільною здатністю 155 еВ по лінії 6,4 кеВ. Детектор було розміщено на відстані 7 см від мішені, під кутом 135° до пучка протонів, перед вікном з берилієвою фольгою товщиною 25 мкм. Рентгенівський детектор XR-100CR Si-PIN мав коліматор діаметром 1,5 мм та поглинач з майларової плівки товщиною 150 мкм. Реєстрація х.р.в. K-серії стронцію проводилася за допомогою двох детекторів: XR-100CR Si-PIN і HPGe. Використання детектора HPGe дало змогу підвищити ефективність реєстрації випроміню-

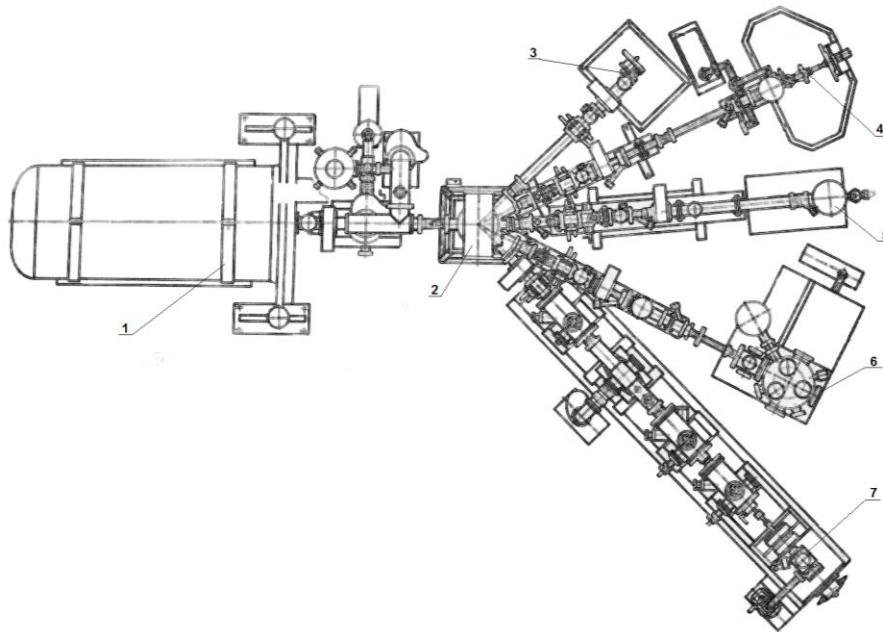


Рис. 1. Схема АЯФК «Сокіл» [8]. 1 - малогабаритний електростатичний прискорювач, 2 - роздавальний магніт, 3 - ліворуч 45° - канали ХРІ та МІЯР; 4 - ліворуч 26° - канал випуску пучка в атмосферу; 5 - ліворуч 5°40' - канал опромінення матеріалів іонами газів; 6 – праворуч 26° - канали РОР, МЯР, ЯО; 7 - праворуч 45° - ядерний мікронд.

вання К-серії атомів стронцію (14,164 кеВ). У детекторі HPGe використовувався надчистий кристал германію з товщиною 8,5 мм. Детектор мав чутливу площу поверхні 25 мм². Як підсилювач була використана стандартна спектрометрична електроніка. При роботі з детектором HPGe використовувалась імпульсна сигнальна плата SBS-75. Обробка рентгенівських спектрів здійснювалася за допомогою коду WinQXAS.

3. Результати та їх обговорення

Типовий вигляд частини спектрів х.р.в. досліджуваних мішеней, виміряних у вищевказаних

експериментальних умовах, наведено на рис. 2 - 4. Рис. 2 показує частину суми двох спектрів волосся – чистого і забрудненого цезієм. Рисунок вказує на те, що чисте волосся не містить елементів, що заважають визначенню цезію.

На рис. 3 показано спектр забрудненого стронцієм волосся і спектр чистого волосся. Під час аналізу спектрів було зафіксовано наявність стронцію в чистому волоссі, що дещо ускладнило оцінку очищення, адже необхідно було визначити різницю вмісту стронцію в забрудненому і чистому волоссі. Остаточна оцінка була зроблена як різниця в інтенсивності лінії стронцію К-серії в спектрі х.р.в. у забрудненому і чистому волоссі.

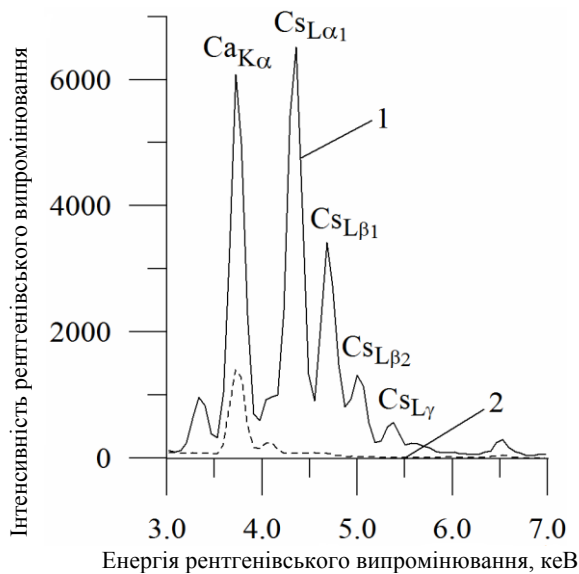


Рис. 2. Спектр х.р.в. волосся, забрудненого нітратом цезію (1) і чистого волосся (2).

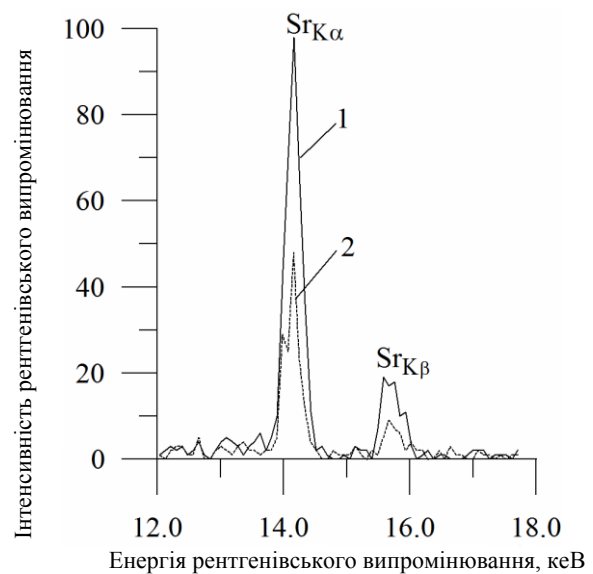


Рис. 3. Спектр х.р.в. волосся, забрудненого нітратом стронцію (1) та чистого волосся (2).

На рис. 4 показано спектр х.р.в. забрудненого кобальтом волосся і спектр чистого волосся. При порівнянні спектрів чистого і забрудненого волосся спостерігалася картина, яка була характерна для стронцію. Наявність кобальту було зафіксовано в чистому волоссі, що призвело до того, що оцінка проводилася як різниці між інтенсивністю ліній у спектрі х.р.в. із забрудненим і чистим волоссям.

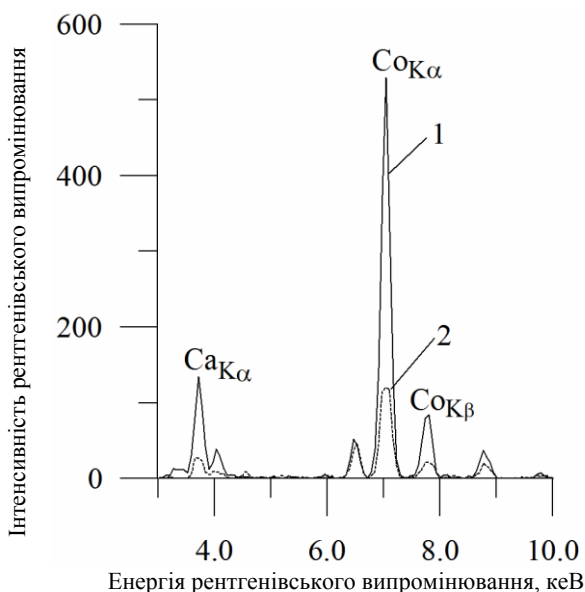


Рис. 4. Спектр х.р.в. волосся, забрудненого нітратом кобальту (1) та чистого волосся (2).

Наявність стронцію і кобальту в чистому волоссі підтверджує участь цих елементів в обмінних процесах людини. Тому як мікроелементи вони можуть бути присутніми в організмі людини у вигляді стабільних ізотопів.

Для визначення дезактивуючих властивостей шампунів використовувався коефіцієнт дезактивації (K_d) [9, 10]. K_d був розрахований за формулою:

$$K_d = \frac{A_n}{A_k},$$

де A_n і A_k – площа піка в спектрі х.р.в. атомів відповідного елемента після забруднення і після миття волосся з урахуванням фонових значень елемента в оригінальному волоссі.

У ході досліджень було визначено кінетичну залежність K_d від часу миття волосся шампунем. Для проведення цих досліджень використовувався шампунь ТМ «Рінго». Промивання проводилося протягом 10, 20 і 30 хв. При цьому розглядалася взаємодія шампуню з усіма елементами (цезієм, стронцієм та кобальтом). Результати представлено на рис. 5 - 7. Такий час обрано з урахуванням утворення комплексу елементів з пектином, що підтверджується методиками, опублікованими раніше [2].

Рис. 5 показує, що залежність K_d від часу миття активно зростає протягом 30 хв. У проміжку від 0 до 20 хв спостерігається значне зростання K_d , в інтервалі від 20 до 30 хв зростання K_d сповільнюється. Первинна сорбційна рівновага настає протягом 20 хв з подальшим поступовим зростанням (вторинна сорбційна рівновага).

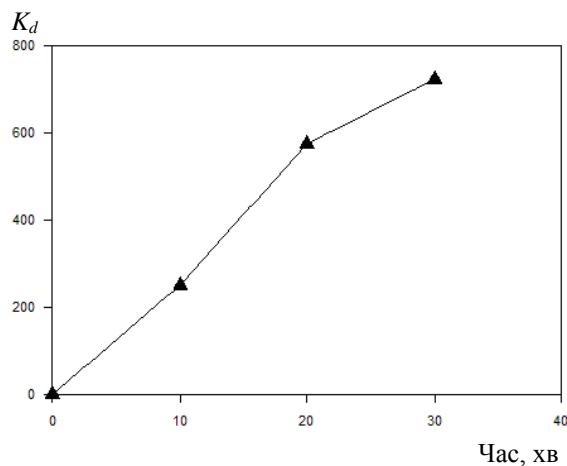


Рис. 5. Залежність K_d волосся від шампуню ТМ «Рінго» для цезію від часу миття волосся (температура розчину $t = 20^\circ\text{C}$).

На рис. 6 видно, що залежність K_d від часу миття активно збільшується протягом 10 хв. Між 10 і 30 хв зростання K_d сповільнюється. Первинна сорбційна рівновага настає протягом 10 хв з подальшим поступовим зростанням (вторинна сорбційна рівновага).

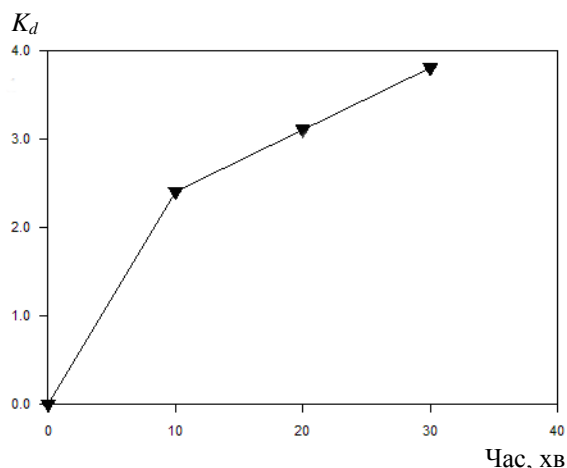


Рис. 6. Залежність K_d волосся від шампуню ТМ «Рінго» для стронцію від часу миття волосся (температура розчину $t = 20^\circ\text{C}$).

На рис. 7 видно, що залежність K_d від часу миття збільшується протягом усього часу миття з 0 до 30 хв. Сорбційна рівновага встановлюється протягом 30 хв.

Результати вимірювань представлено в табл. 1. Взаємодія шампуню із забрудненим волоссям відбувалася протягом 20 хв. Цей час визначався з

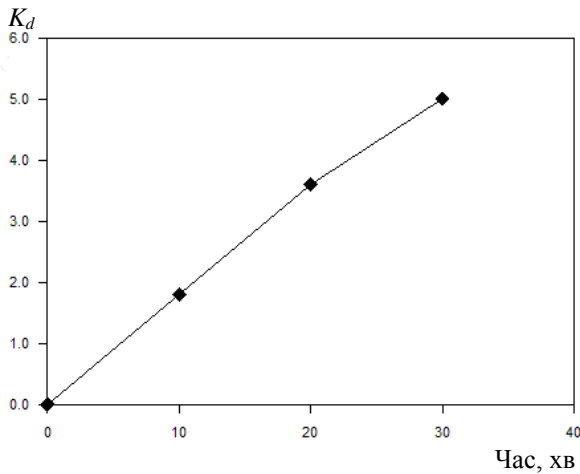


Рис. 7. Залежність K_d волосся від шампуню ТМ «Рінго» для кобальту від часу миття волосся (температура розчину $t = 20^\circ\text{C}$).

Таблиця 1. K_d для шампунів до забруднюючих ізотопів (цезій, стронцій, кобальт)

Шампунь	Цезій	Стронцій	Кобальт
ТМ «Рінго»	574,0	3,1	3,6
Реп'яховий ТМ «Сто рецептів краси»	51,7	3,5	3,5
Дитячий з додаванням 0,3 г лимонної кислоти	41,2	5,4	2,9

урахуванням літературних даних [2], а також з урахуванням фізіологічних параметрів людини. Згідно з існуючими даними, при митті волосся протягом 20 хв достатньо часу для утворення складного з'єднання між пектином і забруднюючим елементом (цезій, стронцій, кобальт).

Отримані дані свідчать про те, що шампунь ТМ «Рінго» має високий K_d відносно цезію ($K_d - 574,0$). Шампунь реп'яховий ТМ «Сто рецептів краси» ($K_d - 51,7$) і дитячий шампунь з додаванням лимонної кислоти ($K_d - 41,2$) мають середні дезактивуючі властивості відносно цезію.

Дезактивуючі властивості (K_d) всіх шампунів до стронцію та кобальту не перевищували 10. Це вказує на те, що всі шампуні непридатні для дезактивації волосся від стронцію та кобальту. Так, для шампуню ТМ «Рінго» K_d по відношенню до стронцію і кобальту не перевищував 3,6. Це свідчить про непридатність шампуню ТМ «Рінго» для дезактивації волосся від забруднення іонами стронцію та кобальту.

Одержані протягом досліджень результати свідчать, що звичайні гігієнічні та косметичні засоби для миття волосся непридатні для дезактивації. Це пов'язано з недостатньою кількістю комплексоутворюючих речовин у складі шампунів. Уведення до дитячого шампуню додаткової лимонної кислоти в кількості 0,3 г на 100 мл шам-

пуню виявилось недостатньо для збільшення дезактивуючих властивостей шампуню. Шампунь ТМ «Рінго» позиціонувався як дезактивуючий шампунь за рахунок уведення до його складу пектину та трилону Б. Високий K_d шампуню ТМ «Рінго» пов'язаний з наявністю трилону Б у складі шампуню. Цей компонент сприяє обмінним процесам, пов'язаним з іонами натрію. Обмінні процеси, пов'язані з іонами натрію, є основним фактором утворення комплексів з іонами цезію. Уведення до шампуню пектину повинно було розширити перелік ізотопів, які б міг вилучити з волосся шампунь. Але до складу було внесено недостатню кількість пектину (до 1,5 %), що значно поступається існуючим дезактивуючим шампуням з використанням пектину (до 20 %) [2]. Недостатня кількість пектину призвела до слабких дезактивуючих властивостей шампуню до стронцію та кобальту.

У ході досліджень було розглянуто дезактивуючі властивості шампунів відносно суміші трьох ізотопів (цезію, стронцію і кобальту). Співвідношення ізотопів було розраховано відповідно до існуючих даних, відносно ізотопного складу відходів ядерної енергетики [11, 12]. Так, було використане таке співвідношення, що містить необхідні ізотопи: $\text{Co}(\text{NO}_3)_2 - 55,2 \%$; $\text{Sr}(\text{NO}_3)_2 - 34,3 \%$; $\text{CsNO}_3 - 10,5 \%$. Результати досліджень представлено в табл. 2.

Таблиця 2. K_d для шампунів до суміші забруднюючих ізотопів (цезій – 10,5 %, стронцій – 34,3 %, кобальт – 55,2 %)

Шампунь	Цезій	Стронцій	Кобальт
ТМ «Рінго»	126,6	2,7	2,4
Реп'яховий ТМ «Сто рецептів краси»	48,7	1,9	1,8
Дитячий з додаванням 0,3 г лимонної кислоти	38,5	4,8	2,3

Відповідно до даних, представлених в табл. 2, спостерігається зниження K_d для всіх елементів (цезію, стронцію та кобальту). Так для шампуню ТМ «Рінго» спостерігається зниження K_d від 574,0 (для розчину, що містить тільки CsNO_3) до 126,6 (для розчину, що містить суміш ізотопів). Це пов'язано з конкуренцією елементів для комплексно-формуючих центрів.

4. Висновки

Розроблено метод оцінки дезактивуючих властивостей шампунів. Визначено дезактивуючі властивості шампунів до цезію, стронцію та кобальту. Визначено K_d шампунів ТМ «Рінго», реп'яхового ТМ «Сто рецептів краси» та дитячого

з додаванням 0,3 г лимонної кислоти на 100 мл шампуню. Шампунь ТМ «Рінго» показав високий K_d до цезію ($K_d - 574,0$) і незначні дезактивууючі властивості до стронцію ($K_d - 3,1$) та кобальту ($K_d - 3,6$) при моноізотопному забрудненні, що суттєво обмежує використання шампуню тільки для дезактивації при забрудненні цезієм. При мультиізотопному забрудненні (суміші ізотопів цезію,

стронцію і кобальту), яке характерне для умов підприємств атомної енергетики спостерігалось зниження K_d для всіх ізотопів, що обумовлено фактором конкуренції ізотопів у процесі використання шампунів. Ні один із розглянутих шампунів не може самостійно ефективно застосовуватися при дезактиваційних процедурах.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Г.В. Гордюк та ін. Дезактивувальний шампунь. Патент UA № 31190. Опубліковано 15.06.2001, бюл. № 5/2001.
2. А.А. Шокур. Універсальний дезактивуючий шампунь. Патент UA № 26693. Опубліковано 10.10.2007, бюл. № 16/2007.
3. Методы и средства дезактивации поверхностей, пищевых продуктов и воды. НПП «МР-КВАНТ».
4. Generic Procedures for Assessment and Response During a Radiological Emergency. IAEA-TECDOC-1162 (Vienna, IAEA, 2000) 194 p.
5. Nuclear Radiation Decontamination Solutions for Emergency & First Responders.
6. R.H.S. Winterton. Van der Waals forces. *Contemporary Physics* 11(6) (2006) 559.
7. G. Audi et al. The Nubase2016 evaluation of nuclear properties. *Chinese Physics C* 41(3) (2017) 030001.
8. A.Yu. Lonin et al. The usage of zeolites for dynamic sorption of cesium from waste waters of nuclear power plants. *J. Radioanal. Nucl. Chem.* 303(1) (2015) 831.
9. Decontamination Approaches During Outage in Nuclear Power Plants – Experiences and Lessons Learned. IAEA-TECDOC-1946 (Vienna, IAEA, 2021) 94 p.
10. Medical Management of Persons Internally Contaminated with Radionuclides in a Nuclear or Radiological Emergency. A Manual for Medical Personnel (Vienna: IAEA, 2021) 116 p.
11. В.Г. Барьяхтар. *Чернобыльская катастрофа* (К.: Наук. думка, 1995) 559 с.
12. Л.И. Руденко и др. Очистка жидких радиоактивных отходов от органических соединений с использованием титаново-железных коагулянтов. *Энерготехнологии и ресурсосбережение* 4 (2013) 59.

V. V. Levenets¹, O. Yu. Lonin^{1*}, O. P. Omelnik¹, A. O. Shchur¹, G. V. Prostantinov²

¹ National Science Center “Kharkiv Institute of Physics & Technology”, Kharkiv, Ukraine

² Limited Liability Company “Levewell Group”, Kyiv, Ukraine

*Corresponding authors: a_lonin@kipt.kharkov.ua, a_lonin@ukr.net

DETERMINATION OF THE DEACTIVATING PROPERTIES OF SHAMPOOS FOR CESIUM, STRONTIUM AND COBALT

The decontamination properties of shampoos for cesium, strontium, and cobalt were determined. The method has been developed for determining the decontaminating properties of shampoos. The chemical part of the study includes the preparation of hair, which consists of forced pollution and subsequent washing. Stable isotopes were used in the work. This has increased the safety of staff during chemical hair research. The analytical part includes the quantitative determination of the cesium, strontium, and cobalt in the hair, which was carried out by the Particle-Induced X-ray Emission (PIXE) method using the analytical nuclear-physical complex “Sokol”. Various shampoos were analyzed, and their decontamination properties were determined. During the research, various samples of shampoos, which are presented on the market of Ukraine, were considered. It has been established that TM “Ringo” shampoo has the best deactivating properties for cesium ($K_d - 574.0$) and insignificant deactivating properties for strontium ($K_d - 3.1$) and cobalt ($K_d - 3.6$). It was determined that with multi-isotope contamination (a mixture of cesium, strontium, and cobalt isotopes) decrease in the deactivation coefficient for all isotopes was observed, which is due to the competition factor of the isotopes in the complexation process with shampoo. Reduction of decontaminating properties was observed on all samples of shampoos.

Keywords: decontamination properties, deactivation coefficient, cesium, strontium, cobalt, PIXE method.

REFERENCES

1. G.V. Hordyuk et al. Deactivating shampoo. Patent UA No. 31190. Published on June 15, 2001, Bull. No. 5/2001. (Ukr)
2. A.A. Shokur. Universal deactivating shampoo. Patent UA No. 26693. Published on October 10, 2007, Bull. No. 16/2007. (Ukr)
3. Methods and means of decontamination of surfaces, food and water. Research and production enterprise “MR-QUANT”. (Rus)
4. Generic Procedures for Assessment and Response During a Radiological Emergency. IAEA-TECDOC-1162 (Vienna, IAEA, 2000) 194 p.

5. Nuclear Radiation Decontamination Solutions for Emergency & First Responders.
6. R.H.S. Winterton. Van der Waals forces. *Contemporary Physics* 11(6) (2006) 559.
7. G. Audi et al. The Nubase2016 evaluation of nuclear properties. *Chinese Physics C* 41(3) (2017) 030001.
8. A.Yu. Lonin et al. The usage of zeolites for dynamic sorption of cesium from waste waters of nuclear power plants. *J. Radioanal. Nucl. Chem.* 303(1) (2015) 831.
9. Decontamination Approaches During Outage in Nuclear Power Plants – Experiences and Lessons Learned. IAEA-TECDOC-1946 (Vienna, IAEA, 2021) 94 p.
10. Medical Management of Persons Internally Contaminated with Radionuclides in a Nuclear or Radiological Emergency. A Manual for Medical Personnel (Vienna: IAEA, 2021) 116 p.
11. V.G. Baryakhtar. *Chornobyl Disaster* (Kyiv: Naukova Dumka, 1995) 559 p. (Rus)
12. L.I. Rudenko et al. Purification of liquid radioactive waste from organic compounds using titanium-iron coagulants. *Energotehnologii i Resursosberezheniye* 4 (2013) 59. (Rus)

Надійшла/Received 06.01.2023