

## **Частина 1**

### **ПРИРОДА БІОЛОГІЧНО АКТИВНИХ РЕЧОВИН ТА ЇХНЯ РОЛЬ У СИСТЕМІ ЖИТТЄЗАБЕЗПЕЧЕННЯ**

Розділ 1. Класифікація, біохімічний склад та фізіологічні функції біологічно активних речовин сільськогосподарської сировини

Розділ 2. Біологічно активні речовини як основний визначник фізіологічних ефектів їжі

Розділ 3. Біологічна активність макронутрієнтів

Розділ 4. Біологічна активність мікронутрієнтів

Розділ 5. Поліфенольні сполуки та каротиноїди в системі захисту біологічних структур від окислення

---

## Розділ 1

# КЛАСИФІКАЦІЯ, БІОХІМІЧНИЙ СКЛАД ТА ФІЗІОЛОГІЧНІ ФУНКЦІЇ БІОЛОГІЧНО АКТИВНИХ РЕЧОВИН СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ СИРОВИНИ

---

## 1.1. Біологічно активні речовини – основа метаболічних процесів в організмі людини

Сучасна наука припускає, що **фізичні, інтелектуальні та духовні сили людини взаємопов'язані на ще не досить вивченому, глибокому рівні**. І дуже ймовірно, що в усіх цих сил одна й та сама основа – харчування. Бо поліпшені якості навіть звичайної, повсякденної їжі (не кажучи вже про функціональні продукти) неодмінно покращують дію всіх органів та систем, що дає підстави стверджувати: **відновлення здоров'я починається з фізичного стану потім поширюється на всі інші, включаючи інтелект та духовність**.

І спорідненість, і відмінність харчових продуктів визначається передусім їхнім складом, тобто тією композицією біологічно активних речовин, яка властива конкретному продуктові.

Біологічно активні речовини не лише забезпечують організм людини енергетичним та пластичним матеріалом, а й оптимізують і контролюють конкретні фізіологічні функції, тисячі біохімічних реакцій, сприяють підтриманню і поліпшенню стану здоров'я, знижують ризик виникнення захворювань і прискорюють процес одужання, забезпечують захист організму від несприятливих чинників довкілля.

На сьогодні констатовано незаперечні дані щодо взаємозв'язку багатьох біологічно активних речовин у раціонах харчування і здоров'я людини, узагальнення і аналіз результатів яких привели до утвердження триєдиної системи «людина – харчування – здоров'я».

Ці ж результати стали теоретичною базою концепції здорового та функціонального харчування. І біологічно активні речовини, що забезпечують нутрієнтні потреби людини, у наповненні цих концепцій знайшли своє місце як **функціональні інгредієнти**.

Тому за аналогією з визначенням терміна «функціональні інгредієнти» правомірним є твердження, що до **біологічно активних речовин відносять**

**біологічно та фізіологічно активні, безпечні речовини** з точними фізико-хімічними характеристиками, для яких виявлено та науково обґрунтовано позитивний вплив на поліпшення та збереження стану здоров'я людини, встановлено і схвалено норму щоденного вживання у складі харчових продуктів.

Сприятливі ефекти, що їх справляють біологічно активні речовини на організм людини, фахівці пов'язують із різними видами фізіологічного впливу. Основними серед них визнано:

- **ПОЗИТИВНИЙ ВПЛИВ** на метаболізм нутрієнтів (підтримання енергетичного балансу, нормалізація маси тіла, рівня глюкози, інсуліну та тріацилгліцеридів у крові тощо);
- **захист організму** від сполук оксидантної активності;
- **ПОЗИТИВНИЙ ВПЛИВ** на серцево-судинну систему;
- **ПОЗИТИВНИЙ ВПЛИВ** на функціонування шлунково-кишкового тракту і стан кишкової мікрофлори;
- **фізіологічний вплив** на стан імунної системи;
- **клітинний обмін** речовин в організмі;
- **синтез** необхідних сполук для життєдіяльності організму;
- **каталіз** біохімічних реакцій в організмі.

Тобто, саме завдяки наявності у харчових продуктах різноманітних біологічно активних речовин раціонально організоване харчування виявляє імуномодулюючий, біорегуляторний, реабілітаційний та інші позитивні впливи на органи, системи та функції організму людини.

Пророчими виявилися слова академіка О. Покровського, який ще в 1970-ті роки минулого століття висунув твердження, що **їжу потрібно розглядати** не лише як будівельний матеріал та енергію, **а й як складний фармакологічний комплекс**, оскільки компоненти їжі є біологічно активними речовинами.

Сучасні досягнення медичної та біологічної наук, нутриціології та фармаконутриціології підтвердили глибокий зміст учення О. Покровського і визнали **біологічно активні речовини їжі істинним джерелом життя** і основою метаболічних процесів в організмі людини.

З'ясування біологічної ролі більшості з них стало одним з найважливіших досягнень як медичної науки, так і біології в цілому. Даний напрям інтенсивно розвивається вітчизняними та зарубіжними ученими, і підхід до біологічно активних речовин харчових продуктів як до складного фармакологічного комплексу набирає все більшого теоретичного та багатоцільового практичного значення у різних сферах харчових технологій.

Однією з найважливіших властивостей БАР є їхня **біологічна активність**. Вона залежить від рівня рН середовища, температури і може втрачатись у процесі нагрівання продукту в результаті підвищення локальних значень температур, утворення нерівномірності потоків розчину, перегріву пристінного шару розчину понад температури термічної стійкості та тривалому часі оброблення.

**За одиницю біологічної активності** будь-якої хімічної речовини, в тому числі БАР, приймають кількість цієї речовини, здатної пригнічувати розвиток чи затримувати ріст певного числа клітин, тканин стандартного штаму (біотесту) в одиниці поживного середовища.

Для кожного виду БАР існують свої методи визначення біологічної активності. Так, для ферментів метод визначення активності полягає у реєстрації швидкості зникнення субстрату (речовини, на яку діє фермент) чи швидкості утворення продуктів реакції. Активність виражають у міжнародних одиницях (МО – це така кількість ферменту, яка при заданих умовах каталізує перетворення 1 мікромоля субстрату за 1 хв.). При проведенні досліджень активність дослідного зразка порівнюють із активністю стандартного зразка при однакових умовах і розраховують активність у відповідних одиницях МО.

Наприклад, для кожного вітаміну існує свій метод визначення біологічної активності. Ці методи складні й вимагають використання високоточного, дорогого та складного обладнання (спектрофотометрів, флуорометрів тощо), багатьох хімічних реактивів і проведення складних розрахунків. При проведенні досліджень необхідно мати досвід роботи з обладнанням, хімічними речовинами, мати навички побудови калібрувальних графіків. До найбільш розповсюджених методів належать методи візуального титрування, високоефективної хроматографії та інверсійної вольтамперометрії.

При виробництві БАР для потреб харчової та фармацевтичної промисловості на стадіях, зазначених у технологічному регламенті, проводять контроль якості отриманої продукції за різними категоріями. Серед них однією з найголовніших є задана для певного виду БАР **біологічна активність**. Тому при виробництві БАР дуже важливо правильно підібрати технологічні режими їх отримання, які б забезпечували максимальну якість при мінімальних затратах енергоресурсів.

Біля витоків учення про біологічно активні речовини їжі як надзвичайно складний хімічний та фармакологічний комплекс стояли найвидатніші учені колишнього СРСР. Так, академіки О. Покровський та О. Несмеянов першими довели, що їжа містить сотні основних і тисячі мінорних компонентів, здатних

справляти виражені та різнобічні фізіологічні ефекти на організм людини. Завдяки цим відкриттям дослідження біологічно активних речовин харчових продуктів було включено до сфери **науки про хімію природних сполук**, засновником якої став академік М. Шемякін.

Арсенал учених постійно поповнюється новими даними про те, що дефіцит у раціоні харчування певних БАР, харчова та нутрієнтна недостатність різко знижують захисні сили організму людини, його здатність адекватно реагувати на несприятливі чинники довкілля, що призводить до виникнення й розвитку багатьох хвороб, передусім аліментарно-залежних.

З точки зору сучасних уявлень **БАР поділяють на дві групи**: ендогенні та екзогенні.

До **ендогенних** належать хімічні елементи (азот, водень, кисень, натрій, калій тощо), низькомолекулярні регулятори (глюкоза, адреналін, ацетилхолін, АТФ тощо) і високомолекулярні біополімери (ДНК, РНК, білки). Вони входять до складу живого організму і беруть участь у всіх процесах метаболізму, мають виражену біологічну активність.

**Екзогенними є БАР**, що надходять в організм із їжею (білки, ліпіди, вуглеводи, вітаміни тощо) або у вигляді лікарських препаратів. Між цими двома групами речовин немає різкої грані, адже, наприклад, білки, мінеральні речовини входять до складу і ендогенних, і екзогенних груп сполук.

З урахуванням взаємодії з організмом БАР поділяють на:

- **біоінертні**, які на засвоюються організмом (целюлоза, геміцелюлоза, лігнін, кремнійорганічні полімери, полікарбонат тощо);
- **біосумісні**, які повільно розчиняються або ферментуються в організмі (полісахариди, полівінілпіролідон, поліакриламід, полівініловий спирт, поліетиленоксиди, водорозчинні ефіри целюлози тощо);
- **біонесумісні**, які викликають ураження тканин організму (поліантрацени, деякі поліаміди та багато інших);
- **біоактивні** спрямованої дії (вінілін, полімери у поєднанні з лікарськими речовинами).

Біоінертні та біосумісні речовини широко застосовуються у виробництві ліків як допоміжні речовини, для отримання тари, пакувальних і конструкційних матеріалів, у харчових технологіях, зокрема при виробництві природних харчових сорбентів та при отриманні харчових продуктів, збагачених харчовою клітковиною та пребіотиками.

Слід зазначити, що з їжею до організму людини потрапляє і ряд неаліментарних **шкідливих біологічно активних речовин – ксенобіотиків**

(радіонуклідів, пестицидів, нітрозамінів тощо). Проблемою їх знешкодження займаються науки токсикологія, гігієна та інші. У даному ж курсі ми поставили за мету звернути увагу і обґрунтувати необхідність використання корисних, аліментарних БАР у харчових виробництвах. Досвід зарубіжних та вітчизняних учених свідчить про те, що практично кожному традиційному харчовому продуктові можна надати профілактичних, оздоровчих та лікувальних властивостей завдяки збагаченню необхідними біологічно активними речовинами.

Досі питання раціонального використання різноманітних біологічно активних речовин у харчових виробництвах **спеціально не розглядались** ні нутриціологією, ні гігієною харчування, ні токсикологією, ні технологіями харчових продуктів. Періодично подавались поодинокі рекомендації щодо збагачення борошна вітамінами групи В, вітамінізації молока та молочних продуктів аскорбіною кислотою, збагачення напоїв екстрактами лікарських трав.

Однак необхідність забезпечення всього населення України оздоровчим харчуванням потребує нових підходів до проблеми використання БАР у харчових технологіях, що ґрунтуються на наукових засадах, перевірених міжнародною практикою методах збагачення харчових середовищ есенціальними нутрієнтами та шляхах інноваційного розвитку харчової промисловості.

Більш того, вирішення проблеми широкого використання незамінних та замінних БАР у харчових технологіях дає всі необхідні підстави для створення в Україні нової великої галузі харчових виробництв – **індустрії оздоровчих продуктів з оптимальним вмістом біологічно активних речовин**, що гарантують позитивний вплив на організм людей усіх вікових категорій.

Саме завдяки БАР спожита їжа встановлює гармонію між компонентами харчових продуктів та гомеостазом організму людини. І це є надзвичайно важливим чинником, адже мудра східна медицина абсолютно переконана в тому, що всі хвороби викликані внутрішнім дисбалансом, а здоровий раціон харчування, що містить усі необхідні БАР, спроможний усунути цей дисбаланс.

Розрахунки показують, що навіть оптимальний раціон сучасної людини, розрахований на енерговитрати у 2500 ккал, збалансований та різноманітний, є дефіцитним, наприклад, за більшістю вітамінів на 20...30 %.

Це пов'язано з тим, що окремі хімічні процеси каталізуються одночасно декількома взаємодіючими вітамінами. Наприклад, для процесу окислення молочної кислоти у пірвіноградну, а останньої – на вуглекислоту та воду,

необхідне оптимальне поєднання вітамінів В<sub>1</sub>, В<sub>2</sub> та РР. За відсутності хоча б одного з них порушується цей життєво важливий цикл.

Тому лише завдяки збагаченню харчових продуктів необхідними БАР у кількостях, що відповідають добовим потребам організму, забезпечується **нормальний перебіг усіх біохімічних процесів**, зокрема пов'язаних із перетравлюванням та засвоєнням біокомпонентів їжі.

При розробленні способів використання БАР як збагачувачів традиційних харчових середовищ виникає ряд принципових питань. На це свого часу звернув увагу один із фундаторів науки валеології І. Брехман.

**По-перше, вимоги до нешкідливості** БАР-збагачувачів мають бути значно вищими, ніж до лікарських сполук. Це природно, адже ліки надходять в організм у значно менших кількостях і в набагато менші проміжки часу. Тому біологічно активні речовини та БАД до їжі повинні піддаватись більш ретельному контролю, ніж ліки. На жаль, сьогодні ця теза не реалізується. Навпаки, багато виробників фармпрепаратів рослинного походження намагаються сертифікувати їх як БАД до їжі, оскільки процедура контролю якості останніх у нинішніх умовах надзвичайно спрощена. Багато БАР рослинного і синтетичного походження ще недостатньо вивчені. Тому для збагачення харчових середовищ необхідно використовувати лише ті БАР, дія яких на людський організм **досконало вивчена у клінічних дослідженнях**.

**Другим принциповим питанням** є визначення дози БАР у складі рецептур харчових продуктів. Внесені збагачувачі лише тоді можуть мати статус біологічно активних речовин, якщо їхня кількість буде адекватною очікуваному ефектові. Недаремно одна з основних вимог до функціональних інгредієнтів полягає у забезпеченні ними від 10 до 50 % добової потреби у конкретному інгредієнті.

І, зважаючи на безумовну роль біологічно активних речовин у функціонуванні організму людини, може, є сенс при розрахунку добового раціону враховувати не лише його калорійність, вміст білків, жирів, вуглеводів, вітамінів та мінеральних речовин, а враховувати й інші БАР, **внесок яких у гармонізацію діяльності усіх органів та систем не менш важливий**. Це, наприклад, біофлавоноїди – перше сімейство антиоксидантів, яким за результатами останніх наукових досліджень судилося стати стандартною частиною лікування раку, серцево-судинних та запальних захворювань.

Це **карнітин** – сполука, яка належить до замінних амінокислот, однак виявилася настільки необхідною, наскільки це можна уявити, оскільки без нього неможлива нормальна робота серцево-судинної системи.

Цілком очевидно, що наш організм виробляє цю амінокислоту, однак вона рідко буває в таких кількостях, котрі необхідні для підтримання оптимального здоров'я. Серце цілком і повністю залежить від карнітину; дві третини його енергопостачання надходять від жирів, котрі організм не може спалювати без допомоги карнітину.

При нестачі карнітину значно підвищується ризик кардіоміопатії – захворювання серцевого м'язу. Ця амінокислота захищає серцевий м'яз від ушкоджень, коли в результаті серцевого нападу або спазму судин різко знижується надходження кисню. Карнітин також допомагає корегувати найбільш руйнівний дисбаланс ліпідів крові – поєднання високої концентрації тригліцеридів із низьким рівнем ліпопротеїдів високої щільності.

Кожен, хто вживає карнітин безпосередньо або у складі харчових продуктів, отримує значний заряд енергії, оскільки амінокислота допомагає перетворенню жирових клітин на легкодоступне паливо і підвищує рівень деяких ферментів, необхідних для перероблення цукрів, крохмалю та інших вуглеводів. Карнітину потребують також особи зі зниженою функцією щитовидної залози (гіпотиреозом), оскільки він допомагає їм долати виснаження і тенденцію до ожиріння.

Тому продукти з оптимальним вмістом карнітину (500...1000 мг) здатні чинити профілактичний і лікувальний вплив. Найбагатшим і найкращим джерелом карнітину є яловичина (курятина, риба, яйця і молоко містять його у менших кількостях). Відомо, що їжа з високим вмістом білку та жиру стимулює виведення карнітину з організму. Високовуглеводні продукти теж не сприяють надходженню карнітину в організм, оскільки зернові та овочі містять дуже незначні кількості цієї кислоти.

Надійним шляхом надходження достатніх кількостей карнітину в організм є збагачення цією біологічно активною речовиною різних харчових середовищ, у тому числі напоїв.

Це **гама-аміномасляна кислота (ГАМК)** – амінокислота і водночас нейромедіатор, одна із хімічних сполук, котра забезпечує передачу нервових імпульсів між клітинами мозку. Дія естрогенів, вільних радикалів, саліцилатів або харчових добавок негативно впливає на внутрішні джерела ГАМК. Її вироблення можуть ускладнювати низькобілкова дієта, недостатні кількості цинку і вітаміну В<sub>6</sub>, які допомагають організмові синтезувати цю цінну сполуку.

Коли мозок відчуває нестачу описаного нейромедіатора, в організмі можуть виникати деякі порушення функціонування органів та систем –



тривожність, депресія, судоми. Лікувальне застосування ГАМК допомагає поліпшити мовлення і відновити втрачену пам'ять у людей після інсульту. Амінокислота зменшує вміст глюкози в крові, знижує кров'яний тиск і нормалізує серцеву діяльність. Не виключено, що подальші дослідження ГАМК можуть довести її винятковість серед усіх амінокислот.

Введення зазначеної БАР до складу харчових середовищ, напоїв, дієтичних добавок дасть можливість забезпечити організм людини її оптимальною концентрацією, яка, за літературними даними, коливається в межах від 500 до 4000 мг.

Можна назвати ще багато прикладів корисних фізіологічних ефектів різних біологічно активних речовин, однак і наведені факти підтверджують висловлену нами думку стосовно того, щоб при розрахунку добових раціонів ураховувати більшу кількість цінних БАР.

Слід зазначити, що у фармакології до біологічно активних речовин відносять лише ті сполуки, які у мінімальних кількостях справляють очікуваний терапевтичний ефект. Це, наприклад, алкалоїди, глікозиди тощо.

І тому іноді у наукових публікаціях зазначається, що, наприклад, «...з їжею щоденно приймається близько 1,5 г біологічно активних речовин, котрі складаються з 5000...10000 різних субстанцій». Потрібно чітко розуміння, що в даному разі йдеться лише про ті БАР, які у фармакології служать компонентами різних ліків.

З точки зору харчових технологій, як з'ясовано вище, спектр БАР набагато ширший, включає велику кількість екзогенних і ендогенних сполук, у тому числі й тих, які мають суто лікувальний характер (наприклад, кофеїн у складі кави та чаю), а також воду, без якої не відбувається жоден біохімічний процес в організмі.

Загалом, традиційне і нове покоління харчових продуктів, які позиціонуються як корисні для здоров'я (оздоровче, функціональне, оптимальне, позитивне харчування) з точки зору вмісту ефективних концентрацій БАР можна класифікувати за такими групами, виходячи з рекомендацій М. Роберфруа (2002) та на основі власних умовиводів:

1. *Харчові продукти, котрі від природи містять високі концентрації певного функціонального інгредієнта або групи БАР.*

**Наприклад**, висівки зі значною кількістю розчинних і нерозчинних харчових волокон; фрукти та овочі, у яких різноманітні БАР містяться в оптимальних співвідношеннях; морські водорості як багате джерело мінеральних речовин.

2. *Харчові продукти, в котрих рівень конкретної біологічно активної речовини, пов'язаної з профілактикою або лікуванням певних хвороб, досягається збагаченням харчового середовища однією або групою БАР у ході технологічного процесу.*

**Наприклад**, отримання йодованої солі для подолання йододефіциту; отримання соків, пюре, молокопродуктів, збагачених кальцієм для профілактики остеопорозу; отримання продуктів, збагачених вітамінами А, С, Е для антиоксидантного захисту організму людини; отримання продуктів із підвищеним вмістом поліненасичених жирних кислот для запобігання атеросклерозу.

3. *Харчові продукти, збагачені нетиповим для них набором БАР.*

**Наприклад**, препаратами  $\beta$ -глюкану дріжджів *Saccharomyces cerevisiae* (структурного, водорозчинного, біомодифікованого), які надають збагаченим продуктам імуномодулюючих властивостей (Шапкіна К.І., 2014 р.) або арабіногалактаном, отриманим із деревини сосни *Pinus silvestris* (Ломака О.В., 2014 р.). Цей полісахарид має високу фізіологічну активність: є ефективним пребіотиком і ентеросорбентом, виявляє гастропротекторну та антимікробну дію, уповільнює процеси пероксидного окислення ліпідів, має високу мембранотропність, що дає можливість використовувати його як транспортний засіб біологічно активних речовин.

Ця категорія харчових продуктів є особливо важливою. Європейське відомство з безпеки харчових продуктів (EFSA) у 2006 р. розробило принципово новий метод оцінки продуктів та інгредієнтів, які заявлено як такі, що «приносять користь для здоров'я». До списку біологічно активних речовин, що позиціонуються саме таким чином, передусім віднесли сполуки імуномодулюючої дії, функціональну спрямованість яких означили «для впливу на імунітет». Сюди належать вітаміни А, С, D, вітаміни групи В, мінерали (залізо, цинк, мідь, селен). Зазначений препарат дріжджового  $\beta$ -глюкану та інші подібні розробки розширюють традиційний список сполук-імуномодуляторів і дають можливість отримати з дешевої, доступної, безпечної сировини нові збагачувачі для використання у харчових технологіях.

4. *Харчові продукти, з яких видалено компоненти, що перешкоджають вияву фізіологічної активності присутніх у них функціональних інгредієнтів.*

**Наприклад**, це рослинні матеріали, котрі містять значні кількості антихарчових сполук і від яких можна позбавитися шляхом пророщування рослин (соя, квасоля, горох).

5. *Харчові продукти, у яких шляхом певної модифікації можна досягти підвищення біологічної або фізіологічної активності функціональних інгредієнтів.*

**Наприклад**, при подрібненні рослинних матеріалів у спеціальних апаратах – дезінтеграторах – досягаються ефекти дефектоутворення та активування компонентів матеріалів, що сприяє підвищенню їхньої біодоступності та засвоюваності живим організмом.

Необхідність сучасної харчової промисловості в інноваційних шляхах розвитку ставить перед вітчизняною наукою складні завдання, вирішення яких відкриває нові горизонти харчовим технологіям. І важлива роль у цьому відводиться раціональному, **обґрунтованому використанню цільових біологічно активних речовин**, харчових біодобавок, поліфункціональних комплексів. Саме вони дають можливість розширити асортимент і підвищити якість харчової продукції, створити нове покоління продуктів – спеціалізованих, збагачених, функціональних, геродієтичних та інших і забезпечити зростаючі потреби населення у здоровому харчуванні.

Аналіз світового та вітчизняного ринків харчових продуктів показує, що немає такої галузі харчової промисловості, де не знайшли б належного застосування БАР-збагачувачі та харчові біодобавки. Вони значною мірою визначають споживчі властивості продукції і сприяють підвищенню економічної складової виробничого процесу за рахунок обґрунтованого використання тих інгредієнтів, які не лише поліпшують харчову та біологічну цінність готового продукту, а й справляють необхідний технологічний ефект (наприклад, пектинові речовини як структуроутворювачі).

Тому розвиток харчової промисловості, орієнтований на розширення асортименту продукції масового, оздоровчого та спеціального призначення, на підтримання продовольчої безпеки в країні, сьогодні неможливо розглядати **без урахування стану індустрії харчових інгредієнтів**, харчових біодобавок, біологічно активних комплексів поліфункціонального призначення, котра починає розвиватись в Україні, витісняючи поступово імпортні поставки, використовуючи дешеву вітчизняну сировину і реалізуючи практичні напрацювання українських учених.

Харчова промисловість є багатогалузевою і використовує різні види сировини, різні технології. Це не дає можливості виробити єдиний підхід до застосування БАР для різних харчових середовищ. Необхідно в кожному конкретному випадку при підборі БАР, визначенні найбільш доцільної стадії їх внесення до системи тощо орієнтуватись на фізико-хімічні, біохімічні,

мікробіологічні характеристики сировини і обов'язково враховувати кількісно ті біологічно активні речовини, які входять до складу самої сировини.

**Наприклад**, при збагаченні борошна мінеральними елементами слід мати на увазі, що харчова основа містить дуже мало кальцію (до 20 мг / 100 г при добовій потребі 800...1200 мг на добу), тому ця БАР необхідна для збагачення борошна; водночас магнію в борошні більше (до 60 мг / 100 г), і за рахунок споживання 300 г хліба організм отримує до 180 мг магнію при його добовій потребі 350...400 мг. Результат таких розрахунків очевидний – борошно не потребує додаткового внесення магнію, тим більше що кальцій і магній конкурують між собою в процесі засвоєння.

Відомо також, що хліб не збалансований за співвідношенням важливих макронутрієнтів – калію і натрію, оптимальне значення якого складає 2 : 1. Оскільки до рецептури хліба входить кухонна сіль, то уже за рахунок споживання 300 г хліба людина отримує близько 0,4...0,5 г натрію і лише 0,1...0,2 г калію. Тому для досягнення оптимального співвідношення між цими сполуками борошно необхідно збагачувати калієм і, за можливості, зменшувати вміст натрію.

Підбір БАР для збагачення харчових середовищ визначається також і **цільовим призначенням готового продукту**. Наприклад, продукт антиоксидантної дії повинен містити оптимальні кількості вітаміну А та каротиноїдів, вітамінів С та Е, а також мікроелемент селен.

## **1.2. Особливості використання БАР харчових продуктів в екстремальних умовах життєдіяльності**

Організм людини є функціональною системою, всі елементи якої взаємодіють між собою, беруть участь у підтриманні гомеостазу при безперервному обміні речовин та енергії з навколишнім середовищем.

Установлено, що вплив таких негативних чинників, як підвищені нервово-емоційні та фізичні навантаження на тлі нестійких параметрів довкілля, призводять до посилення катаболізму білків, вітамінів та інших життєво важливих нутрієнтів. Така ситуація особливо характерна для спортсменів та військовослужбовців, передусім тих, які перебувають безпосередньо в зоні бойових дій.

У зв'язку з цим, **проблема** забезпечення таких контингентів раціонально збалансованим харчуванням **набирає особливої ваги і має стати актуальним предметом досліджень як науковців, так і практиків.**

Останнім часом теорія збалансованого харчування поповнена новими даними про потреби організму при різних захворюваннях і різних умовах проживання. Тому існуючий у нутриціології балансовий підхід до структури харчування, пов'язаний із нормативним забезпеченням у раціоні макро- та мікронутрієнтів відповідно до фізіологічних потреб людини, **потребує істотного корегування** при розробленні харчових раціонів осіб, що перебувають в екстремальних умовах життєдіяльності.

Підтвердженням цієї тези є результати досліджень (Ю. Депутат, 2010), на підставі яких автор зробив висновок, що, наприклад, фактичний і нормативний раціони харчування військовослужбовців строкової служби Збройних Сил України не відповідають нормам фізіологічних потреб цієї категорії населення. Причому виявлено кількісний дисбаланс білків, жирів та вуглеводів; надлишок білків рослинного походження і нестачу тваринних; незбалансованість амінокислотного та жирнокислотного складу харчових продуктів тощо.

На відміну від спортсменів, проблема забезпечення військових якісним харчуванням поки що не знайшла свого практичного вирішення, варто лише зазначити розробку Н.В. Притульської зі співавторами зі створення продуктів для ентерального харчування, призначених для пацієнтів з травмами, пораненнями і ураженнями.

Тому **важливим напрямом роботи** є формулювання наукових засад розроблення для військовослужбовців спеціальних харчових продуктів, адекватних умовам життєдіяльності.

В основу методологічної бази дослідження покладено методи наукового пізнання, системного підходу та узагальнення результатів наукових праць у даному напрямі.

Загалом для населення, що проживає в екстремальних умовах, харчові продукти повинні відзначатись сукупністю таких властивостей:

- **компенсувати** дефіцит біологічно активних компонентів, який виникає під впливом несприятливого навколишнього середовища;
- **покращувати** функціональний стан органів та систем організму;
- **підвищувати** захисні функції імунної системи організму;
- **підвищувати** фізичну витривалість, сприяти посиленню адаптаційних резервів організму і психологічної стійкості в екстремальних ситуаціях та комбінованій дії несприятливих чинників;
- **прискорювати** процеси відновлення метаболічних процесів після підвищених фізичних та нервово-емоційних навантажень;
- **покращувати** самопочуття, забезпечувати адекватні фізіологічні та психологічні реакції на стресори, запобігати духовній та психічній спустошеності.

На підставі досвіду вітчизняних та зарубіжних учених, логічних умовиводів можна виокремити декілька засадничих положень формування спеціального харчового раціону для військовослужбовців та інших спецконтингентів, які, в силу своєї діяльності, постійно піддаються негативним екстремальним впливам.

**Аспект 1.** З нашої точки зору, харчові продукти для таких контингентів мають посісти **статус спеціальних**, і їх потрібно розглядати у новій якості – як **носіїв широкого спектру біологічно активних речовин**, що беруть участь у всіх процесах фізіологічного та гормонального регулювання діяльності організму людини і, залежно від якісного та кількісного складу, надають продуктам профілактичних, оздоровчих та лікувальних властивостей.

Призначення усіх цих продуктів полягає у запобіганні метаболічним та нервово-емоційним порушенням в організмі під впливом шкідливих та небезпечних для здоров'я чинників довкілля, особливо в умовах бойових дій.

**Аспект 2.** Основною умовою виробництва продуктів для спецконтингентів є використання природних інгредієнтів із широким спектром фізіологічних впливів – енергетичних, загальнозміцнюючих, імуномодулюючих, адаптогенних, стресолімітуючих, реабілітаційних та інших.

Із урахуванням таких завдань зрозуміло, що частка природних БАР у раціоні військових має складати до 1000 різних найменувань. Жоден, навіть

найбільш досконалий продукт, не здатен забезпечити таку кількість функціональних інгредієнтів. Тому і поставлено за мету не лише створення окремих харчових продуктів, **а й компонування на їхній основі спеціальних харчових раціонів**, які б забезпечували і енергетичні витрати організму військовослужбовця, і здатність до відновлення, і профілактику можливих захворювань.

**Аспект 3.** Моделювання таких продуктів необхідно розпочинати з білкової складової, тому що білок – це і оновлення клітин, і виконання механічних функцій, і транспорт в організмі всіх інших нутрієнтів, і участь у регулюванні біохімічних процесів, і стійкість організму до інфекцій.

Частка білку має бути досить значною – 1,5...2 г / 1 кг маси тіла. Це приблизно 100...150 г на добу – за Нормами харчування військовослужбовців Збройних сил України (норма №1 – загальновійськова) білкова складова дорівнює 122 г. Причому на тваринний білок має припадати не менш ніж 55 %, а рослинний – 45 %. Саме при такому співвідношенні забезпечується **адекватність амінокислотного складу раціону фізіологічним потребам організму в екстремальних умовах.**

До продуктів, багатих на білок, належать м'ясо, м'ясопродукти, риба, молоко, яйця. Біологічно цінними і дешевими джерелами білку тваринного походження є також вторинні ресурси молочної та м'ясної промисловості, малоцінні породи риб та інші морепродукти.

Зважаючи на обставини, у яких живуть і харчуються спецконтингенти, білок має бути швидкоперетравлюваним. Відомо, що за ступенем перетравлюваності білки продуктів розташовуються в такий ряд:

**рибні > молочні > м'ясні > злакові > круп'яні.**

Це визначає пріоритети у виборі джерел білку.

Потрібно також враховувати, що при розробленні м'ясо-овочевих консервів не бажано включати бобові (сою, квасолю, горох), оскільки їхні компоненти знижують активність травних ферментів, вони недостатньо засвоюються організмом і викликають неприємні відчуття на рівні шлунково-кишкового тракту.

**Аспект 4.** Другий важливий компонент їжі для спецконтингентів – жировий. Це основне джерело енергії для організму та необхідних сполук – вітамінів, жирних кислот, фосфоліпідів. І, зважаючи на складність психологічної обстановки в екстремальних умовах життєдіяльності, саме

регулюванням жирових компонентів (передусім співвідношенням жирних кислот) можна оберігати серцево-судинну систему від захворювань. Підшкірний жировий шар захищає тіло людини від механічних ушкоджень та переохолодження, а вісцеральний – сприяє стійкому положенню внутрішніх органів і запобігає їх травмуванню.

Більшість природних жирів характеризується високим коефіцієнтом перетравлюваності та засвоюваності живим організмом.

**Відомості про відповідність жирової частини раціону потребам людини в екстремальних умовах у край обмежені.** Однак, є дані щодо гальмівної дії рослинних жирів на функції центральної нервової системи. Більш того, багате рослинними жирами харчування збільшує вміст нейтрального жиру у тканинах печінки, пригнічує ресинтез глікогену, знижує ліпидоутворюючу здатність печінки, що негативно впливає на фізичну та м'язову витривалість.

З цієї точки зору неприпустимо використовувати у продуктах для військових дешеві жири – пальмітинову, стеаринову та інші насичені жирні кислоти, кокосову та пальмову олії, оскільки в біологічному відношенні вони малоактивні та небезпечні для серцево-судинної системи.

І навпаки, в раціонах харчування мають бути у необхідній кількості ненасичені жирні кислоти (лінолева, ліноленова, олеїнова). Їх містять такі олії, як оливкова, соняшникова, кукурудзяна, і деякі тваринні жири (пташиний, риб'ячий).

**Аспект 5.** Третя важлива складова для харчування спецконтингентів – вуглеводи. Це ефективне джерело енергії та запорука витривалості. Також за їхньої участі в організмі синтезуються ліпіди, амінокислоти та інші важливі сполуки. Частка вуглеводів у раціоні харчування військовиків має становити 635,3 г.

Особливого значення ця складова харчування набуває після інтенсивних фізичних навантажень. Спостереження за діяльністю спортсменів показали, що при максимальних м'язових зусиллях вуглеводи використовуються в першу чергу. Виснаження їхніх запасів призводить до таких **негативних наслідків**:

- **окислення жирів;**
- **поява** у крові продуктів неповного окислення жирів (кетонові тіла);
- **порушення** функції центральної нервової та м'язової системи;
- **ослаблення** розумової та фізичної діяльності.

Потреба у вуглеводах забезпечується на 1/3 за рахунок легкозасвоюваних компонентів (моно- та дисахаридів) і на 2/3 – за рахунок складних вуглеводів, які засвоюються повільно. При короткочасних значних енерговитратах частка



легкозасвоюваних вуглеводів має зростати, тому до раціону військових потрібно включати мед.

**Аспект 6.** Не менш важливою складовою вуглеводної частини харчування в екстремальних умовах життєдіяльності мають бути харчові волокна – комплекс біополімерів, що включає полісахариди (целюлозу, геміцелюлози, пектинові речовини), а також лігнін і зв'язані з ними білкові сполуки, які разом формують клітинні стінки рослин.

Сьогодні харчові волокна визнано надзвичайно цінними компонентами харчування, і їх класифікують як **нутриєнти №6** поряд із білками, жирами, вуглеводами, мінеральними речовинами та вітамінами. За рекомендацією ВООЗ добова потреба в харчових волокнах – 25...40 г. У раціонах харчування для військових, спортсменів вона повинна бути близькою до верхньої межі – 40 г на добу.

Необхідність введення харчових волокон (ХВ) до раціонів зумовлено їхніми **різноманітними фізіологічними ефектами**. Найбільш важливими в даному разі є:

- **здатність** ХВ частково постачати організм енергією,
- **здатність** виводити метаболіти їжі та токсичні сполуки;
- **регулювати** біохімічні процеси у шлунково-кишковому тракті, в тому числі активізувати перистальтику товстого кишечника.

Результати оцінки сорбційної здатності ХВ показують, що вони зв'язують і виводять із організму іони свинцю, кадмію, радіонукліди, нітриту, патогенні мікроорганізми та інші шкідливі сполуки.

Ось чому досягнення у розроблених раціонах фактичної відповідності вмісту харчових волокон нормативним показникам, удосконалення технологій виробництва харчових продуктів з оптимальним вмістом ХВ і вибір їх сировинних джерел є одним із важливих завдань у розв'язанні даної проблеми.

Характеристика того невеликого асортименту хлібопродуктів на основі зернових, збагачених харчовими волокнами, які виробляються в Україні, свідчить про те, що найпопулярнішими добавками є висівки, крупка пшенична подрібнена, пшеничні зародки або пластівці, цільне зерно пшениці та жита, насіння прямих рослин. Вартими уваги при вирішенні даної проблеми є також роботи, виконані під керівництвом професора В.М. Ковбаси, зі створення нових видів екструзійних сухих сніданків підвищеної біологічної цінності.

Усі ці розробки можуть стати основою для отримання нових видів хлібобулочних виробів, сухих сніданків, харчових концентратів та інших

продуктів із оптимальним вмістом ХВ, які посядуть належне місце у раціонах для спецконтингентів.

**Аспект 7.** Необхідною складовою раціону мають бути оптимальні дози вітамінів та мінеральних елементів, передусім антиоксидантної дії. Уже зазначали, що екстремальні стани, нервово-емоційні перевантаження, вплив шкідливих чинників зовнішнього і внутрішнього середовища призводять до посилення катаболізму вітамінів, викликаючи збільшені потреби у них. Незамінними сполуками для забезпечення високої фізичної працездатності є вітаміни групи В, вітамін С, вітамін Е, біофлавоноїди.

**Особлива роль аскорбінової кислоти** пов'язана з її здатністю підвищувати резистентність організму до неспецифічних інфекційних захворювань, регулювати окисно-відновні процеси, регенерацію тканин, брати участь у синтезі проколагену та колагену, позитивно впливати на функціонування ендокринної та нервової систем, підвищувати імунітет організму.

**Вітаміни групи В** входять до складу ферментів, які каталізують реакції метаболізму вуглеводів, білків і ліпідів. Їх комбінація сприяє нормалізації функціонування вегетативних центрів, передачі нервових імпульсів, покращенню діяльності нервових клітин і підкоркових центрів, за рахунок чого нормалізується вегето-емоційний статус. Тіамін (**вітамін В<sub>1</sub>**) бере участь у вуглеводному та енергетичному обміні, особливо в нервових і м'язових тканинах, впливає на проведення нервового збудження в синапсах. **Вітамін В<sub>5</sub>** покращує процеси регенерації та енергетичне забезпечення скоротливої функції міокарда, поліпшуючи діяльність серцево-судинної системи. **Вітамін В<sub>6</sub>** необхідний для нормального функціонування центральної та периферійної нервової систем. **Вітамін В<sub>12</sub>** має високу біологічну активність, зокрема сприятливо впливає на функцію печінки, нервової системи, поліпшує регенерацію тканин.

Зазначені ефекти вітамінів групи В зумовлюють необхідність їх використання в ефективних дозах при розробленні раціонів для спецконтингентів, особливо при порушенні діяльності центральної нервової системи та її травматичних ушкодженнях, вегетативних неврозах, інтоксикаціях, відновлювальному періоді після поранень та операцій, при астеничних станах (підвищена стомлюваність, хронічна втома, депресія, нервозність, розлади сну).

**Вітамін Е** зумовлює максимальну фізичну витривалість, він також посилює імунітет, покращує рециркуляцію вітаміну С, підвищує функціонування м'язової системи, оскільки сприяє зниженню втрат кисню.

Описані вище нутрієнти не забезпечать нормального функціонування організму **без достатньої кількості мінеральних сполук**. Тому актуальними є дослідження із обґрунтування потреб людини в мінеральних елементах у різних умовах життєдіяльності, розроблення простих і доступних критеріїв оцінки повноцінності мінеральної складової харчових продуктів і способів **запобігання мікроелементозам** – хворобам, пов'язаним із нестачею або надлишком певних мінеральних елементів.

Необхідність у раціонах населення в екстремальних умовах достатнього вмісту біогенних мінеральних сполук пов'язана з їхніми функціями, основними з яких є:

- **участь** у побудові опорних кістково-м'язових тканин організму;
- **підтримання** гомеостазу внутрішнього середовища;
- **підтримання** рівноваги клітинних мембран;
- **активація** усіх біохімічних процесів шляхом впливу на ферментні системи організму;
- **вплив** на симбіотичну мікрофлору шлунково-кишкового тракту.

Серед біогенних елементів найбільш важливими в даному випадку є **кальцій, магній, залізо, цинк, селен, калій**. Разом з тим, за даними Ю. Депутата, фактичний раціон військовослужбовців строкової служби лише на 59,9 % задовольняє добову потребу в кальції.

Загалом сировина, що вирощується в Україні, при застосуванні сучасних методів її перероблення дає можливість створити широкий спектр харчових продуктів для будь-яких спецконтингентів, у тому числі для військових. Такі продукти спроможні забезпечити і харчові потреби, і захисні функції, і здатність до адаптації, і реабілітаційні можливості.

Таким чином, при розробленні **спеціальних раціонів харчування** в основу мають бути покладені принципи їх збалансованості за окремими групами нутрієнтів та адекватності для забезпечення енергетичного еквіваленту фізичних і психоемоційних навантажень, адаптаційних змін в організмі. **Необхідний рівень біологічно активних речовин** у раціонах може забезпечуватись лише комбінуванням різних харчових продуктів, отриманих із сільськогосподарської та лікарської сировини.

Денний раціон має бути адекватний тим внутрішнім і зовнішнім чинникам, які виникають в екстремальних умовах життєдіяльності, і містити всі необхідні

компоненти для забезпечення фізичної та психологічної витривалості військових, запобігання виникненню і розвитку соматичних та нервових захворювань, збереження стану здоров'я.

### **1.3. Використання БАР сублімованих продуктів для виведення інкорпорованих радіонуклідів $^{90}\text{Sr}$ та $^{137}\text{Cs}$ з організму**

За останні 30 років загальний фон радіоактивності довкілля значно зріс. Подальшому його підвищенню сприяє дифузія радіоактивних речовин з місць захоронення відходів АЕС і особливо аварія на Чорнобильській атомній станції.

Не існує безпечних способів зберігання радіоактивних відходів і немає безпечних доз опромінення. Радіоактивний фон в усьому світі призводить до передчасної старості, природжених дефектів, росту дитячої смертності, поширенню раку та лейкемії, а також раніше не відомих інфекційних захворювань. Основною причиною цих страждань людства є непередбачувано серйозний вплив малих доз опромінення протягом тривалого часу.

В умовах впливу іонізуючої радіації складаються ефекти онкогенних чинників, таких як джерела гепатотоксичних нітросполук, поліциклічні ароматичні вуглеводні, різноманітні забруднювачі харчових продуктів, що утворюються при технологічному та кулінарному обробленні. Небезпека виникнення злоякісних новоутворень різко підвищується при сумісній дії іонізуючої радіації та названих онкогенних чинників.

Аналіз сучасного стану проблеми не залишає сумнівів у тому, що на випадок ураження організму радіоактивними речовинами основний акцент має бути зроблено на причинний, каузальний захист, тобто на запобігання інкорпорації та видалення радіоактивних речовин з організму, в результаті чого досягається зниження поглинутої дози і, як наслідок, ослаблення, а то і знешкодження біологічних ефектів опромінення.

Очевидно, що цією констатацією не применшується значення іншого шляху захисту, заснованого на використанні загальних принципів профілактики і лікування променевих хвороб, зумовлених зовнішнім опроміненням. Однак усі фахівці звертають увагу на необхідність диференційованого підходу до використання цих принципів і недопустимість простого перенесення існуючих рекомендацій на всі випадки радіоактивної інтоксикації.

Загальновідомо, що використання засобів специфічної профілактики радіаційних уражень є важливим елементом захисту організму в умовах загального опромінення від зовнішніх джерел.

Якщо керуватись згаданими вище положеннями, то і у випадку отруєнь радіоактивними речовинами повинно бути показано використання радіопротекторів різноманітних речовин штучного та природного походження, здатних зменшити шкідливу дію іонізуючої радіації на біологічні системи. Подібні рекомендації без належного експериментального обґрунтування висловлюються в періодичній та довідковій літературі.

Водночас доведено (Є.І. Сухачова, 1989), що при ураженні радіоактивними сполуками динаміка накопичення організмом поглинутої дози істотно відрізняється від характеру її формування в умовах миттєвого чи швидкоплинного  $\gamma$ -нейтронного або рентгенівського опромінення. При постійному надходженні радіоактивних сполук в організм період формування гостроефективної дози в органах і тканинах виявляється більш тривалим, оскільки цей процес визначається ядерно-фізичними властивостями радіонуклідів і часом перебування їх в організмі (В.Г. Владимиров, 1988).

Висновок: одноразове профілактичне використання радіопротекторів (термін ефективної дії яких переважно короткий) з метою «нейтралізації» частини сумарної дози опромінення явно недостатнє та й недоцільне.

Тому в концептуальному плані можна ставити питання щодо тривалого використання радіопротекторів на фоні постійного внутрішнього опромінення для підтримання в організмі ефективно діючої концентрації препарату захисної дії. З цією метою використовують різноманітні ентеросорбенти, високоокислену целюлозу, сорбенти на основі природних полімерів – пектинів та альгінатів, феррацину тощо.

Однак декорпоруюча дія цих препаратів обмежена. Доведено, наприклад, що пектини малоефективні стосовно зменшення всмоктування радіонуклідів стронцію в шлунково-кишковому тракті, оскільки вони не утворюють стійких комплексних сполук зі  $\text{Sr}^{2+}$ . Тривале (понад місяць) використання ентеросорбентів на основі активованого вугілля та природних полімерів призводить до істотного мінерального дисбалансу, погіршення формули крові, викликає стійкий дисбактеріоз (В.Н. Корзун, 1995), оскільки будь-який сорбент, поглинаючи і виводячи із організму радіоактивні елементи, одночасно зв'язує і нерадіоактивні. Тому на даний час склалась ситуація, що виключає доцільність ефективного застосування названих моносорбентів.

Більш того, сучасні уявлення щодо механізму радіозахисної дії, а також аналіз проблеми пошуку нових радіопротекторів дозволяють зробити висновок, що найближчим часом навряд чи можна сподіватися на створення універсального препарату, що задовольняє всім вимогам сучасної медицини.

Реальнішим видається досягнення зазначеної мети, якщо йти шляхом розроблення радіозахисних рецептур та багатокомпонентних комплексів. Таким чином можливо вирішити декілька завдань: забезпечення вищого рівня захисту, зниження побічних та небажаних ефектів протипроменевих препаратів, і, нарешті, досягнення більш раннього прояву дії та подовження її, що сприяє корегуванню доз на підставі потенціювання або сумачії зазначених ефектів.

Найдосконалішими будуть, очевидно, комбіновані рецептури, складені на основі кількох природних радіопротекторів різного механізму дії з включенням лікарських препаратів, що корегують їхню фармакологічну активність.

На сучасному етапі розвитку радіобіології, біохімії та фармакології накопичилося чимало даних про те, що комбіноване застосування антиоксидантів з різними механізмами дії виявляє більший антиоксидантний, антистресовий та радіопротекторний ефекти, ніж використання тих же препаратів поодиноці. Так, у дослідженнях (Н.І. Чефранова, 1996) вивчалася ефективність ліпідо- та водорозчинних антиоксидантів (вітамін Е, А, С) при застосуванні їх як окремо, так і в комплексі. Автори роблять висновок, що комплексне застосування препаратів вітамінів Е, А, С значно ефективніше за використання окремо будь-якого з них.

Тому розроблення радіозахисних комбінованих рецептур дає змогу досягти вищого радіопротекторного ефекту в разі дії іонізуючих випромінювань при малих величинах та інтенсивностях доз. Чільне місце в цих рецептурах має належати **комбінаціям у вигляді харчових добавок біокомпонентів рослинної сировини**, яка, що надзвичайно важливо, еволюційно входить до раціону харчування людини.

Значення плодоовочевої продукції в оздоровчому та профілактичному харчуванні визначається, як сказано вище, наявністю вітамінів, мікро- та макроелементів, вуглеводів та інших груп речовин, котрих у інших харчових продуктах або немає зовсім, або вони присутні в незначних кількостях.

Оскільки єдиним на даний час засобом перероблення рослинної сировини, що дає можливість зберегти в готовому продукті всі зазначені цінні біокомпоненти, є низькотемпературна технологія, то, безумовно, саме сублімовані продукти мають стати тією основою, на якій ґрунтуватиметься розроблення рецептур комплексних харчових біодобавок широкого спектру фізіологічної та терапевтичної дії, в тому числі радіопротекторної (Г.О. Сімахіна, 1999).

Для експериментального підтвердження цього положення фахівці лабораторії профілактики внутрішнього опромінення Всесоюзного наукового

центру радіаційної медицини АМН СРСР провели широкий спектр досліджень із впливу кріопорошків яблук, буряків, смородини, моркви, топінамбуру, амаранту, цедри цитрусових тощо, отриманих у Проблемній науково-дослідній лабораторії Національного університету харчових технологій, на основні біохімічні показники функціонування організму лабораторних тварин на фоні тривалого надходження в організм радіонуклідів стронцію та цезію, важких металів та пестицидів у заданій концентрації.

Досліди проводили на безпородних самцях білих щурів із середньою масою 140...160 г. Використано 105 тварин по 15 у кожній групі. Одна група тварин отримувала звичайний віварний раціон, всі інші – по 400 мг сублімованих продуктів. Їх вплив на процеси виведення інкорпорованих радіонуклідів стронцію та цезію вивчали у динаміці в умовах 30-денного експерименту. Через тиждень після адаптації до даних раціонів тваринам ввели одноразово (додали до їжі) радіонукліди з розрахунку  $^{90}\text{Sr}$  1306 Бк/тварину і  $^{137}\text{Cs}$  343 Бк/тварину. Вміст радіонуклідів у тілі щурів вимірювали за гамма-випромінюванням  $^{137}\text{Cs}$  та  $^{90}\text{Sr}$  один раз у 3 дні на портативній установці “Ortec” з аналізатором імпульсів на 4000 каналів, сцинтиляційним детектором фірми “Bicron” (США).

Вимірювання проводили в геометрії спеціального пластикового будиночка, в котрому фіксували тварину. Діапазон енергій, що реєструється детектором, складає 40 КеВ – 10 МеВ. Перед початком вимірювань було проведено енергетичне калібрування гамма-спектрометра для ідентифікації радіонуклідів і калібрування за ефективністю реєстрації гамма-квантів. Це необхідно для кількісного визначення активності радіонуклідів. З цією метою використано еталон фірми “Amersham” (Великобританія), який відповідає вимогам Міжнародної електротехнічної комісії, і фантом тіла тварини з відомою активністю. Похибка радіометричного вимірювання не перевищувала 5%.

Результати дослідження динаміки виведення радіонуклідів стронцію та цезію в контролі та в дослідах ми зобразили на рис. 1.1. З рисунків видно, що введені в організм радіонукліди з певною швидкістю видаляються з нього, особливо лабільним є цезій. Кінетика виведення стронцію та цезію з організму щурів описується, з певним наближенням, двома експонентами. Частина цезію виводиться досить швидко за період у 2...3 доби, стронцію – 4...5 діб, а кількість, що залишилась, видаляється повільніше.

Автори (Н.П. Борщевська, 1994) дійшли висновку, що в перші дні виводиться в основному позаклітинний цезій; подальше виведення його сповільнюється тому, що радіонуклід утворює з біосубстратами організму

стабільні комплекси. Таке пояснення, очевидно, можна віднести і на рахунок поведінки стронцію.

Порівняння контрольної кривої із дослідними показує, що використання всіх сублімованих порошків більшою чи меншою мірою посилює елімінацію радіонуклідів. За 30 діб у тварин контрольної групи виводиться близько 60% цезію і 90% стронцію при використанні, наприклад, сублімованого порошку цедри цитрусових.

Підвищена кількість декорпорованого цезію приводить, за дослідженнями В.Н. Корзуна, до зменшення його вмісту в органах щурів на 50%. Найменша кількість радіонуклідів виводиться кріопорошками топінамбуру. Хоча, щоб надати конкретного змісту поняттям «більше» чи «менше» для даного випадку, варто скористатись критерієм оцінки ефективності захисної дії будь-якого препарату, запропонованим Л.О. Ільїним.

Для цього проводиться простий розрахунок за формулою:

$$E_3 = \left(1 - \frac{A_d}{A_k}\right) \cdot 100\%$$

де:  $A_d$ ,  $A_k$  – залишкова концентрація радіонуклідів в % від введеної кількості в організм дослідних та контрольних тварин.

Згідно з цією формулою, ефективність радіозахисної дії БАР окремих сублімованих продуктів складає (табл. 1.1).

**Таблиця 1.1. Ефективність захисної дії БАР сублімованих продуктів щодо радіонуклідів  $^{90}\text{Sr}$  та  $^{137}\text{Cs}$  через 30 діб експерименту**

Сублімовані продукти	Ефективність захисної дії БАР, %	
	щодо $^{137}\text{Cs}$	щодо $^{90}\text{Sr}$
Цедра цитрусових	$65 \pm 0,14$	$96,4 \pm 0,41$
Смородина	$53,2 \pm 0,32$	$75,0 \pm 0,17$
Цукровий буряк	$31,3 \pm 0,12$	$66,1 \pm 0,22$
Яблука	$30,2 \pm 0,44$	$64,2 \pm 0,43$
Морква	$21,6 \pm 0,27$	$46,5 \pm 0,19$
Картопля	$18,8 \pm 0,23$	$40,6 \pm 0,15$
Топінамбур	$11,9 \pm 0,31$	$34,0 \pm 0,28$



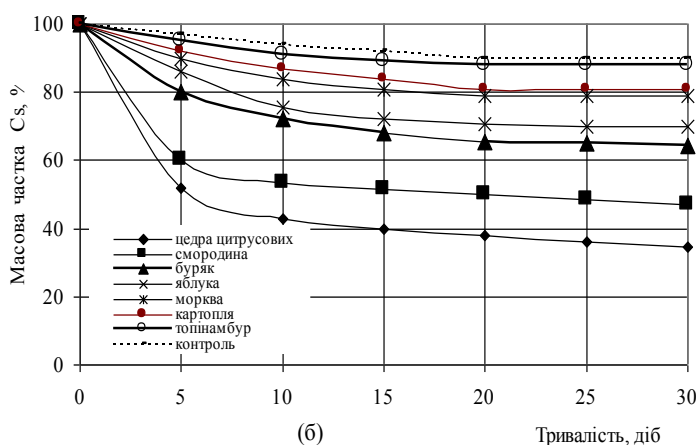
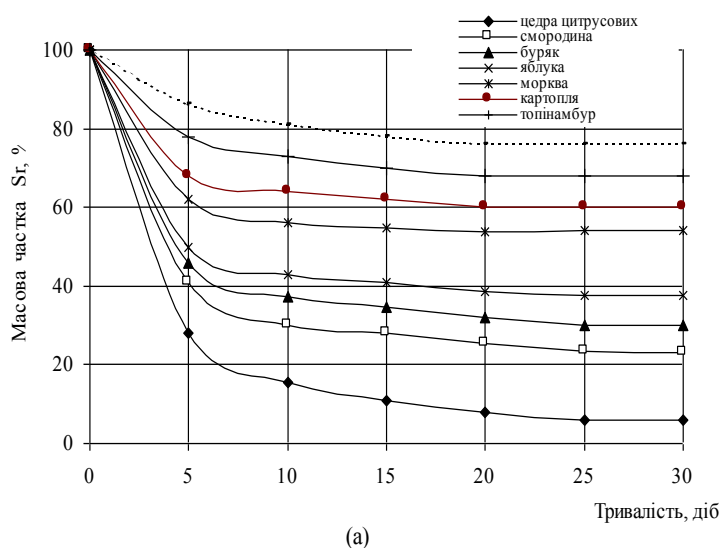


Рис. 1.1. Динаміка виведення радіонуклідів стронцію (а) та цезію (б) в контролі та досліді із сублімованими порошками при одноразовому опроміненні лабораторних тварин

радіонуклідів їх валентності та енергії гідратації (В.Г. Владимиров, 1988).

Результати, представлені на рисунку 1.1 та в таблиці 1.1, показують, що сублімовані продукти, отримані за однією й тією ж технологією з різних видів рослинної сировини і, відповідно, з різним комплексом БАР, мають різний радіопротекторний ефект: від 34,0% для топінамбуру до 96,4% для цедри цитрусових за стронцієм і, відповідно, 11,9 і 65,6 % за цезієм.

Відомо, що адсорбція на порошкоподібних біоматеріалах унаслідок їх гетерогенності є складним багатосистемним процесом (О.П. Карнаухов, 1989). І це ускладнює з'ясування її механізму. Сорбція різних радіонуклідів біокомпонентами одного й того ж сублімованого порошку може відбуватись різними шляхами: іонним обміном, хемосорбцією, комплексоутворенням.

За даним критерієм усі досліджені кріопорошки, з точки зору їхньої радіопротекторної дії щодо стронцію, можна віднести, згідно з класифікацією Л.О. Ільїна, до таких, що мають значну чи високу ефективність. За радіоактивним цезієм до цієї групи не потрапляє лише топінамбур.

Загалом, отримані експериментальні дані, результати досліджень інших авторів свідчать про те, що сорбційне видалення двовалентного сильногогідратованого стронцію ( $-n_{\text{гидр.}}^0=342$ ) значно вище від ефекту сорбційного видалення одновалентного слабогідратованого цезію ( $-n_{\text{гидр.}}^0=61$ ), що підтверджує відомі дані щодо значного впливу на сорбцію

Вибірковість дії сорбентів визначається структурою, природою функціональних груп, їх розташуванням, взаємним впливом.

Тому причину зазначеного явища різного радіозахисного ефекту БАР кріопорошків з різних видів сировини слід шукати у відмінностях в їхньому біокомпонентному складі. В першу чергу, серед сполук, здатних або до іонного обміну, або до утворення малорозчинних комплексів з радіонуклідами.

Описані нижче дослідження підтверджують цю гіпотезу. Та перш ніж перейти до них, варто зупинитись на ще одній позитивній характеристиці сублімованих продуктів – їхній здатності до знешкодження дії важких металів та пестицидів у живому організмі, що є особливо важливим для захисту організму людини в екстремальних умовах життєдіяльності.

В лабораторії радіаційної біохімії Українського наукового центру радіаційної медицини НАН України та МОЗ України проведено дослідження із впливу композиційних сумішей кріопорошків (яблука та смородина, буряки та морква) на основні біохімічні показники крові лабораторних тварин при тривалому надходженні в організм важких металів і пестицидів.

Досліди проводили на щурах-самцях 5-місячного віку з масою тіла 140...150 г лінії Вістар. Усі тварини щоденно отримували кріопорошки у кількості 300 мг, крім контрольної 1-ї групи, яка отримувала лише сир. Дослідна група 2 отримувала суміш порошків з яблук та смородини; група 3 – з буряків та моркви. Експеримент проходив протягом 6 місяців, після чого аналізували основні біохімічні показники крові тварин, що дало можливість з'ясувати ті зміни в організмі, які відбувались під впливом сублімованих продуктів.

Згідно з отриманими результатами, введення до харчового раціону тварин сублімованих продуктів викликає позитивні зміни у характері гемолізу еритроцитів: основний пік відбувається у більш пізній період, причому частка нестійких форм еритроцитів зменшується. Це є однозначним свідченням сприятливого впливу кріопорошків на процеси еритропоезу та їх захисний ефект клітинних мембран. Сублімовані матеріали справляють також антиоксидантну дію на живий організм, що є основним чинником зниження і знешкодження основної маси токсичних продуктів. Це виявилось у зменшенні рівня перекисного окислення ліпідів і, відповідно, вмісту дієнових кон'югатів ліпідів та малонового діальдегіду.

Щоденне вживання кріопорошків викликає також вірогідні позитивні зміни у білковому спектрі крові, сприяючи збільшенню відносного вмісту фракції альбуміну і зменшенню фракції гамма-глобуліну. Загалом це свідчить про

здатність біокомпонентів порошків протидіяти патогенним впливам та значною мірою знижувати токсичний ефект дії важких металів і пестицидів на живий організм (акти досліджень наведено у дисертації Г.О. Сімахіної, 1999 р.).

#### **1.4. Механізм зв'язування катіонів стронцію біологічно активними речовинами кріопорошків**

З результатів підрозділу 1.3 видно, що обмін одновалентного цезію, який знаходиться в організмі у вигляді досить лабільних іонів, відносно швидко відбувається в часі, тому його декорпорація не викликає особливих труднощів при використанні відповідних сорбентів: берлінської лазурі, оксиферозину, фероціанової смоли, тобто антидотів групи фероціанідів.

Поділ ядер важких елементів при випробуванні ядерної зброї, аваріях на АЕС тощо супроводжується також високим виходом в біосистему  $^{90}\text{Sr}$ , котрий є одним із найшкідливіших в екологічному відношенні радіоізотопів.

Із зовнішнього середовища по харчових ланцюгах  $^{90}\text{Sr}$  мігрує в організм людини і тривало фіксується у кістковій тканині, стаючи активним канцерогенним агентом (Л.О. Ільїн, 1977). Особливо небезпечне це явище для дитячого організму, коли йде ріст кісткової тканини з активним використанням кальцію, а при його недостатній кількості – стронцію.

Стронцій і кальцій – двовалентні катіони, що належать до однієї групи періодичної системи. Їхні іонні радіуси досить близькі (2,18 і 2,24 А), подібні також багато інших фізико-хімічних властивостей. Це й визначає аналогію в асиміляції і обміні Са і Sr в організмі тварин і людини. І якщо в живий організм надходить мало кальцію, то починається інтенсивне поглинання стронцію. І лише при достатній концентрації кальцію відзначається переважне його використання і дискримінація Sr стосовно Са в ряді біохімічних процесів.

Цілком очевидно – для зменшення концентрації цезію та стронцію в організмі необхідно як знизити надходження його ізотопів, так і витіснити вже інкорпоровані. Обидва завдання можуть бути вирішені завдяки харчовим продуктам, збагаченим калієм і кальцієм. Разом з тим, перевагу слід віддавати композиціям, що містять компоненти, здатні зв'язувати цезій та стронцій і в результаті не тільки перешкоджати їх всмоктуванню в шлунково-кишковому тракті, а й виводити радіонукліди, що циркулюють у кровотоку.

Для того, щоб встановити основні закономірності всмоктування, розподілу, накопичення та видалення радіонуклідів з живого організму

необхідно перш за все з'ясувати механізм їх зв'язку з різноманітними біологічними структурами досліджуваних рослинних матеріалів.

Відомо, що іони багатьох металів схильні до комплексоутворення. Це стало вихідною передумовою для обґрунтування можливості прямого впливу на обмін деяких радіонуклідів в організмі шляхом використання відповідних біокомпонентів рослинної сировини, що мають виражену комплексоутворюючу здатність.

Основними параметрами іона металу, що впливають на стійкість комплексної сполуки, є його радіус, заряд, будова зовнішніх електронних оболонок, потенціал іонізації, електронегативність тощо.

Звідси зрозумілою є слабка комплексоутворююча здатність однозарядних іонів металів і зростання її у дво-, тризарядних та полівалентних катіонів. Тому комплексоутворення є одним з імовірних механізмів зв'язування та наступного виведення з живого організму радіонуклідів стронцію.

На ефективність утворення комплексів катіонів стронцію з біокомпонентами кріопорошків впливають різноманітні чинники, зокрема, утворення асоціатів радіоактивних сполук із складовими крові, органів і тканин, рН середовища, наявність «кальцієвого фону» в організмі, проникність клітинних мембран для згаданих сполук тощо (Б.І. Поливода, 1990).

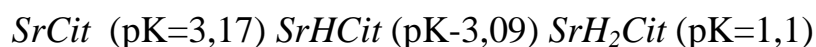
Кальцій і стронцій утворюють досить міцні комплексні сполуки з більшістю органічних кислот, до того ж константи їх дисоціації майже не відрізняються. На жаль, опубліковано поодинокі роботи, присвячені вивченню та визначенню стійкості такого роду сполук (табл. 1.2).

**Таблиця 1.2. Значення рК дисоціації комплексів  $\text{Ca}^+$  та  $\text{Sr}^{2+}$  з органічними кислотами крові (А. Терней, 1981)**

Кислоти	рК дисоціації $\text{Ca}^+$	рК дисоціації $\text{Sr}^{2+}$
Лимонна	3,14	2,92
Молочна	1,42	0,98
Яблучна	1,80	1,45

Органічні кислоти, значна частина яких здатна утворювати комплекси з катіонами металів, входять до складу усіх без винятку досліджуваних кріопорошків, про що свідчать дані, наведені у таблиці 1.3.

У цій таблиці з-поміж усіх кислот окремо виділено лимонну, оскільки вона утворює найстійкіші комплекси з металами. Найбільш відомі комплексні сполуки лимонної кислоти зі стронцієм такого складу:

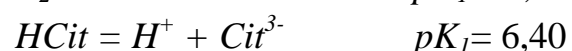
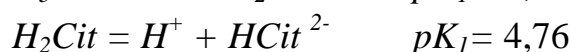


В даній частині роботи зроблено спробу змоделювати поведінку стронцію при сумісній присутності органічних кислот і, зокрема, лимонної, введених до системи у складі досліджуваних кріопорошків. Це завдання виконано у співпраці зі старшим науковим співробітником УДУХТ А.Є. Архипцем.

**Таблиця 1.3. Масова частка органічних кислот у досліджених кріопорошках**

Кріопорошок	Вміст органічних кислот, %		Вміст лимонної кислоти, моль/л
	загальний	в тому числі кислот – комплексоутворювачів	
Морква	0,33	0,20	0,01
Яблука	0,70	0,30	0,015
Апельсини	2,50	1,80	0,19
Буряк	0,52	0,30	0,015
Топінамбур	0,18	0,12	0,006
Картопля	0,26	0,15	0,0075
Смородина	2,70	1,70	0,085

Лимонна кислота – триосновна оксикислота, що дисоціює за трьома ступенями при відповідній константі дисоціації:



Рівноваги між окремими формами визначаються значеннями рН середовища та величинами констант дисоціації і можуть бути представлені у вигляді:

$$C_{Cit} = [H_3Cit] + [H_2Cit^-] + [HCit^{2-}] + [Cit^{3-}]$$

$$C_{Cit} = [H_3Cit] \left\{ 1 + \frac{K_1}{[H^+]} + \frac{K_1 K_2}{[H^+]^2} + \frac{K_1 K_2 K_3}{[H^+]^3} \right\}$$

При спільній присутності всіх дисоційованих форм схеми матеріального балансу за лимонною кислотою та стронцієм записуємо таким чином:

$$C_{Cit} = [H_3Cit] \left\{ \begin{array}{l} 1 + \frac{K_1}{[H^+]} + \frac{K_1 K_2}{[H^+]^2} + \frac{K_1 K_2 K_3}{[H^+]^3} + \\ \frac{[Sr^{2+}] K_1}{[H^+] K \alpha_1} + \frac{[Sr^{2+}] K_1 K_2}{[H^+]^2 K \alpha_2} + \frac{[Sr^{2+}] K_1 K_2 K_3}{[H^+]^3 K \alpha_3} \end{array} \right\}$$

Виділяючи вирази, що залежать лише від константи дисоціації та рН середовища, і вводячи такі позначення:

$$F_1 = \left\{ 1 + \frac{K_1}{[H^+]} + \frac{K_1 K_2}{[H^+]^2} + \frac{K_1 K_2 K_3}{[H^+]^3} \right\}$$

$$F_2 = \left\{ \frac{K_1}{[H^+] K \alpha_1} + \frac{K_1 K_2}{[H^+] K \alpha_2} + \frac{K_1 K_2 K_3}{[H^+] K \alpha_3} \right\}$$

одержуємо систему рівнянь:

$$[Sr^{2+}] = \frac{C_{Sr}}{(1 + [HCit] F_2)}$$

$$C_{Cit} - [H_3Cit] F_1 - \frac{[H_3Cit] C_{Sr} F_2}{(1 + [H_3Cit] F_2)} = 0$$

Дана система рівнянь розраховується для умов тонкого кишечника (рН близько 8,0) в широкому діапазоні концентрацій лимонної кислоти та стронцію та їх різному співвідношенні. Концентрації лимонної кислоти для розрахунків вибрали на підставі вмісту цього біокомпоненту в досліджуваних кріопорошках, визначеного, як і інших органічних кислот, за допомогою стандартних методик (табл. 1.3).

Припустімо, що у кишечник об'ємом один літр гіпотетичної людини надійшло 100 г будь-якого з кріопорошків, що містять органічні кислоти відповідно до даних табл. 1.3. Приймаємо рівноважні концентрації стронцію, що відповідають отриманій системі рівнянь, рівними 0,0001; 0,0005 і 0,0010 г-іон/л.

Для зручності перераховуємо концентрацію всіх кислот кріопорошків, здатних до комплексоутворення, на лимонну кислоту і одержуємо величини

відношення рівноважної концентрації іона стронцію до його вмісту при взаємодії з рослинними кріопорошками (табл. 1.4).

**Таблиця 1.4. Зв'язування іона стронцію органічними кислотами кріопорошків**

Кріопорошок	Вміст кислот-комплексоутворювачів, %	Концентрація $[Sr^{2+}]$ , моль/л	Рівноважна концентрація $[Sr^{2+}]$ , % до загальної
Морква	0,20	0,001	6,41
		0,005	6,56
Яблука	0,30	0,001	4,30
		0,005	4,41
Апельсини	1,80	0,001	0,75
		0,005	0,75
Буряк	0,30	0,001	4,30
		0,005	4,41
		0,0010	4,62
Топінамбур	0,12	0,001	10,33
		0,005	10,79
		0,0010	11,28
Картопля	0,15	0,001	8,44
		0,005	8,83
		0,0010	9,23
Смородина	1,70	0,001	0,75
		0,005	0,79
		0,0010	0,79

Аналіз даних таблиці 1.4 дає підстави для наступних висновків. Кожен з досліджуваних кріопорошків завдяки вмісту органічних кислот сприяє зв'язуванню певної кількості стронцію. Повнота зниження рівноважної концентрації іона стронцію в розчині перебуває **в прямій залежності від кількості комплексоутворюючих органічних кислот**, що містяться в даному порошку.

Кріопорошки апельсинів та смородини сприяють максимальному зв'язуванню, а отже, і виведенню стронцію з середовища – співвідношення рівноважної концентрації іона стронцію до його загального вмісту складає всього 0,75 та 0,79%. Яблука та буряк мають однаковий ефект зв'язування

стронцію, а комплексоутворююча здатність топінамбуру складає всього 7 % від відповідного параметру для смородини.

Результати показали також, що при високому вмісту кислот у кріопорошках (смородина, апельсини), ступінь зв'язування іона стронцію не залежить від його початкової концентрації.

Таким чином, за ефективністю зв'язування та виведення стронцію з середовища (наприклад, організму людини) досліджувані кріопорошки розміщуються в такий ряд:

**апельсини > смородина > буряки, яблука > морква > картопля > топінамбур.**

Цікавим виявився той факт, що за наведеними вище даними Інституту радіаційної медицини НАН України, де на живих тест-об'єктах вивчалась придатність рослинних матеріалів до виведення радіонуклідів з організму, всі досліджені кріопорошки за ефектом декорпорації радіонуклідів склали таку саму послідовність (рис. 1.1, табл. 1.1).

Отже, одним із ефективних і сприятливих для здоров'я людини способів вирішення проблеми зменшення всмоктування радіонуклідів і виведення їх із організму при постійному внутрішньому опроміненні є споживання продуктів та харчових добавок, до складу яких входять біокомпоненти, здатні утворювати малорозчинні комплекси з металами, у тому числі радіонуклідами.

## **ВИСНОВКИ**

1. Найбільш реальним шляхом вирішення проблеми співвідношення структури харчування та стану здоров'я людини є виробництво харчових продуктів масового та спеціального призначення з оптимальним вмістом необхідних біологічно активних речовин, що беруть участь у процесах фізіологічного й гормонального регулювання усіх функцій організму.

2. Сприятливі ефекти біологічно активних речовин на організм людини пов'язані з їхнім впливом на метаболізм нутрієнтів, захист внутрішнього середовища від сполук оксидантної активності, стан імунної системи, клітинний обмін речовин, синтез необхідних сполук, каталіз біохімічних реакцій.

3. За якісним і кількісним вмістом біологічно активних речовин традиційні та нові харчові продукти поділяються на 5 основних груп, кожна з яких посідає своє місце у системі оздоровчого та профілактичного харчування.



4. В екстремальних умовах життєдіяльності при виробництві харчових продуктів, збагачених есенціальними нутрієнтами, акцент робиться на тих біологічно активних речовинах, які здатні нівелювати такі негативні чинники, як підвищені нервово-емоційні та фізичні навантаження на тлі нестійких параметрів довкілля.

5. Раціон харчування для екстремальних умов життєдіяльності здатен забезпечити необхідний рівень біологічно активних речовин лише завдяки комбінуванню різних харчових продуктів, отриманих із сільськогосподарської та лікарської сировини.

6. Одним із основних негативних виявів довкілля залишається радіоактивне забруднення ґрунтів та водоймищ. В умовах впливу іонізуючої радіації складаються ефекти різних онкогенних чинників, і при їхній сумісній дії різко підвищується небезпека злоякісних новоутворень.

7. Плодово-ягідна сировина завдяки вмістові різних біологічно активних речовин є ефективним комбінованим засобом для запобігання накопиченню в організмі радіонуклідів. Сучасні уявлення про механізм радіозахисної дії протекторів спонукають до пошуку їх нових джерел.

8. Сублімовані продукти з плодово-ягідної сировини певною мірою посилюють елімінацію радіонуклідів. Ефект сорбційного видалення стронцію переважає відповідні показники за цезієм, що підтверджує відомі дані щодо значного впливу на сорбцію радіонуклідів валентності та енергії гідратації.

9. Змодельовано поведінку стронцію у присутності органічних кислот-комплексоутворювачів, що входять до складу сублімованих продуктів. Запропоновано систему рівнянь, яка розраховується для умов тонкого кишечника в широкому діапазоні концентрацій органічних кислот, перерахованих на лимонну, та стронцію. З'ясовано механізм виведення радіонуклідів органічними кислотами із живого організму.

10. Усі досліджені види плодовоовочевої сировини розташовано у ряд за ефективністю зв'язування та виведення стронцію, що в практичних умовах дає можливість обрати сировину та сублімовані напівфабрикати з неї, найбільш придатні для виведення радіонуклідів.

11. Систематичне вживання плодів та овочів, у тому числі у вигляді сублімованих продуктів, сприяє підвищенню розумової та фізичної працездатності, стимулює роботу органів кровотворення, підсилює опірність організму до несприятливих чинників довкілля і тим самим знижує ризик виникнення онкологічних, серцево-судинних та інших захворювань.

## КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Дати поняття про біологічно активні речовини, їхнє трактування у медицині та харчових технологіях.
2. Основні фізіологічні ефекти БАР на функціональні системи організму людини.
3. Поняття біологічної активності БАР та основні методи її визначення.
4. Класифікація біологічно активних речовин: ендогенні та екзогенні БАР.
5. Вимоги до безпеки біологічно активних речовин та біодобавок до їжі.
6. Сучасні відомості про нові БАР і доцільність їх використання у харчових технологіях.
7. Групи харчових продуктів за критерієм ефективних концентрацій БАР.
8. Наукові засади розроблення продуктів та харчових раціонів для екстремальних умов життєдіяльності.
9. Характеристика білкової, жирової та вуглеводної складових у харчуванні військовослужбовців.
10. Вітамінно-мінеральні комплекси як необхідна складова раціонів харчування спецконтингентів.
11. Іонізуюча радіація та засоби захисту організму людини.
12. Механізм радіозахисної дії та пошук нових ефективних радіопротекторів.
13. Плодоовочеві композиції у розробленні радіозахисних комбінованих рецептур.
14. Динаміка виведення радіонуклідів біологічно активними речовинами сублімованих плодовоовочевих культур.
15. Механізм зв'язування радіонуклідів органічними кислотами плодів та овочів.