

Міністерство освіти і науки України
Національний університет водного господарства
та природокористування
Кафедра хімії та фізики

05-06-161M

METHODICAL GUIDELINES

for lecture classes on the academic discipline
«Production Processes and Equipment» on the topic:
«Waste Processing and Natural and Wastewater Treatment (Module
2. Technological Schemes of Industry Production)» for first-level
(bachelor's) higher education students according to the educational-
professional programme «Automation, Computer-Integrated
Technologies and Robotics» speciality 174 «Automation, Computer-
Integrated Technologies and Robotics»
full-time and part-time forms of study

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до лекційних занять з навчальної дисципліни
«Виробничі процеси та обладнання» на тему: «Переробка
відходів та очищення природних та стічних вод (модуль 2.
Технологічні схеми галузевих виробництв)» для здобувачів
вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за освітньо-
професійною програмою «Автоматизація, комп'ютерно-
інтегровані технології та робототехніка» спеціальності 174
«Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та
робототехніка» денної та заочної форми навчання

Рекомендовано
науково-методичною
з якості ННІ ЕАВГ
Протокол № 11 від 01.07.2025 р.

Рівне – 2025

Methodical guidelines for lecture classes on the academic discipline «Production Processes and Equipment» on the topic: «Waste Processing and Natural and Wastewater Treatment (Module 2. Technological Schemes of Industry Production)» for first-level (bachelor's) higher education students according to the educational-professional programme «Automation, Computer-Integrated Technologies and Robotics» speciality 174 «Automation, Computer-Integrated Technologies and Robotics» full-time and part-time forms of study [Electronic edition] / Korchyk N. M., Mysina O. I., Besediuk V. Y. – Rivne : NUWEE, 2025. – 72 p.

Методичні вказівки до лекційних занять з навчальної дисципліни «Виробничі процеси та обладнання» на тему: «Переробка відходів та очищення природних та стічних вод (модуль 2. Технологічні схеми галузевих виробництв)» для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за освітньо-професійною програмою «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка» спеціальності 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка» денної та заочної форм навчання [Електронне видання] / Корчик Н. М., Мисіна О. І., Беседюк В. Ю. – Рівне : НУВГП, 2025. – 72 с.

Укладачі: Корчик Н. М., к.т.н., доцентка кафедри хімії та фізики; Мисіна О. І., ст. викладачка кафедри хімії та фізики; Беседюк В. Ю., аспірант.

Відповідальний за випуск: Мороз М. В., доктор хімічних наук, професор, завідувач кафедри хімії та фізики.

Керівник групи забезпечення спеціальності 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка»

Христюк А. О.

© Н. М. Корчик, О. І. Мисіна,
В. Ю. Беседюк, 2025
© НУВГП, 2025

Contents

Preface.....	4
Lecture 1. Biological and chemical treatment of wastewater.....	6
Lecture 2. Treatment of natural water and wastewater. Ion exchange technologies for softening and desalination.....	15
Lecture 3. Waste processing. Whey as a valuable food product.....	31
References.....	72

Зміст

Передмова.....	5
Лекція 1. Очищення стічних вод. Біологічне та хімічне очищення стічних вод.....	10
Лекція 2. Очищення природних вод. Іонообмінні технології пом'якшення та знесолення.....	22
Лекція 3. Переробка відходів. Сироватка як цінний харчовий продукт.....	52
Література.....	72

PREFACE

In order to study process management methods and develop a typical automation scheme, basic knowledge of the discipline 'Production Processes and Equipment' is required. In particular, typical processes and laws that determine their speed, the structure of the production process, equipment, and tasks for diagnosing their condition.

The aim of the discipline is to introduce students to the basic principles and patterns of processes, develop technological thinking and the ability to analyse events, form a scientific view on the problems of basic technologies and rational use of natural resources, and introduce students to the physical and chemical processes that occur in various technological schemes in different industries.

The objective of the discipline is to prepare students for effective learning of the fundamentals processes and technological schemes of industrial production of inorganic and organic substances, in accordance with the educational plan, and to justify the importance of science on processes and equipment in solving practical problems.

The lecture notes will help students thoroughly study the theoretical and practical material of the topics and prepare for regular and modular knowledge tests. It contains topics of the course that are not included in the textbooks and methodological guidelines for practical work, namely: Biological and chemical wastewater treatment; Treatment of natural water and wastewater. Ion exchange technologies for softening and desalination; Waste processing. Whey as a valuable food product.

ПЕРЕДМОВА

Для вивчення шляхів управління процесами та складання типової схеми автоматизації є базові знання із дисципліни «Виробничі процеси та обладнання». Зокрема, типові процеси та закони, що визначають їх швидкість перебігу, структуру виробничого процесу, обладнання та задачі діагностування їх стану.

Мета дисципліни – ознайомлення студентів з основними положеннями та закономірностями процесів, розвиток технологічного мислення і здатності аналізувати явища, формування наукового світогляду з проблем базових технологій, раціонального природокористування; ознайомлення студентів з фізико-хімічними явищами, які зустрічаються в різноманітних технологічних схемах галузей виробництва.

Завдання дисципліни - підготовка студентів до ефективного засвоєння основ процесів, технологічних схем галузевих виробництв неорганічних та органічних речовин, згідно з навчальним планом, обґрунтування значення науки про процеси та обладнання в розв'язанні практичних завдань.

Конспект лекцій допоможе здобувачам ґрунтовно опрацювати теоретичний та практичний матеріал тем, підготуватися до поточного, модульного контролів знань. Він містить ті теми курсу, які не ввійшли до навчальних посібників та методичних вказівок до виконання практичних робіт, а саме: Очищення стічних вод. Біологічне та хімічне очищення стічних вод; Очищення природних вод. Іонообмінні технології пом'якшення та знесолення; Переробка відходів. Сироватка як цінний харчовий продукт.

LECTURE 1. WASTEWATER TREATMENT. BIOLOGICAL AND CHEMICAL WASTEWATER TREATMENT

The technology of wastewater treatment related to household enterprises, including hotel and restaurant complexes, is based on biological treatment using activated sludge and biofilm. The performance of activated sludge and biofilm, which provide destructive biochemical processes for the transformation of wastewater impurities, depends on a number of parameters that can be grouped as follows:

- Chemical composition of wastewater;
- Concentration of contaminants;
- Conditions of the process.

Wastewater of the hotel and restaurant complex can be described as complex systems that include impurities of organic and inorganic, artificial and natural origin, in particular those that are difficult to oxidise or not oxidised (synthetic dyes, surfactants, etc.), which are biologically active substances (phosphates, nitrates) and toxic to microorganisms (in particular chlorides).

Given the limited water resources, wastewater can be classified as concentrated. For the treatment of wastewater from a hotel and restaurant complex, the most commonly used is the classical biological treatment scheme, which includes primary sedimentation, aerobic oxidation, secondary sedimentation, sludge compaction and recycling.

The above system of wastewater treatment facilities is recommended for use at low concentrations of pollution and cannot provide deep wastewater treatment. At high concentrations, a technological scheme that includes a combination of aerobic and anaerobic oxidation methods is recommended. This method cannot provide deep wastewater treatment because it does not provide for the required oxidation rate, which ensures changes in biocenoses. To increase the depth of treatment, methods that provide optimal conditions for the functioning of microflora through a combination of physicochemical and biochemical methods are recommended.

Given that microorganisms of activated sludge (biofilm) absorb the energy of a chemical reaction that is redox, it can be argued that

ensuring optimal conditions for its functioning is associated with the regulation of the following indicators: pH, redox potential (ORP), temperature.

Thus, the study of ways to regulate the redox state in biological wastewater treatment systems is important for the direction of complex biochemical processes and ensuring optimal conditions for the functioning of the microflora of activated sludge (biofilm).

The table 1 shows an example of a functioning wastewater treatment plant system that includes subsystems for primary sedimentation and subsequent biological treatment under aerobic conditions.

Table 1

Characteristics of the operation of wastewater treatment plants

№	Sampling location	pH	Eh, V	BOD ₅ , mgO ₂ /dm ³	Phosphates, mg/dm ³
1	Pre-aerators	6,7	+0,04	1260	30
2	Primary settling tank of the 1st line	6,8	+0,04	840	30
3	Aerotank I	8,2	+0,152	56	28,8
4	Aerotank II	8,3	+0,15	56	25,2
5	Secondary settling tank of the 2nd line	7,5	+0,13	56	21
1	Pre-aerators	6,3	+0,09	1680	35
2	Primary settling tank of the 1st line	6,5	+0,09	1064	35
3	Aerotank I	7,7	+0,09	578,9	33
4	Aerotank II	8,0	+0,11	554,9	32
5	Secondary settling tank of the 2nd line	7,6	+0,09	560	31,5

It was found that Eh, which characterises the energy of redox reactions, increases from 0.04 V (pre-aerator) to 0.152 V (1st stage

aeration tanks); the indicator characterising the redox properties of the aqueous medium rH_2 increases towards the oxidising medium and varies from 14.78 V (pre-aerator) to 21.78 V (2nd stage aeration tanks). Along with this, the value of BOD_5 in the pre-aerator is $1260 \text{ mgO}_2/\text{dm}^3$. Under conditions where the BOD_5 value in the pre-aerator is $1680 \text{ mgO}_2/\text{dm}^3$, Eh varies from 0.09 V (pre-aerator) to 0.11 V (2nd stage aeration tank), rH_2 from 15.7 V to 19.8 V, and the final BOD_5 concentration is $560 \text{ mgO}_2/\text{dm}^3$.

Thus, it can be concluded that the treatment effect in this case is insufficient and varies from 96% at a BOD_5 value of $1260 \text{ mgO}_2/\text{dm}^3$ in the pre-aerator to 67% at a BOD_5 value of $1680 \text{ mgO}_2/\text{dm}^3$ in the pre-aerator. The purification effect is reduced by 20% by phosphate concentration. Lower values of indicators (Eh, rH_2), characterising the energy of redox reactions and the nature of the water environment, correspond to a decrease in the treatment effect.

To increase the effect of wastewater treatment, we propose a technology based on a combination of physicochemical (settling, treatment with reagents) and biological (oxidation by microflora in anaerobic and aerobic conditions) methods. Such a combination of wastewater treatment methods eliminates the disadvantages of each of the individual methods, which allows for effective treatment and intensification of the processes of biological transformation of impurities by regulating the physicochemical properties of the water environment, in particular the redox properties by Eh.

The proposed technology was used in a study of wastewater treatment. Wastewater in the amount of $100 \text{ m}^3/\text{day}$ is contaminated:

- Organic matter BOD_5 - $330 \text{ mgO}_2/\text{dm}^3$;
- Ammonium nitrogen - $40 \text{ mg}/\text{dm}^3$;
- Phosphates - $20 \text{ mg}/\text{dm}^3$.

The water is pre-treated from sand and floating coarse impurities and fed for biological treatment under anaerobic conditions. Anaerobic heterotrophic microorganisms hydrolyse organic matter to form low molecular weight compounds, partially reduce oxidised forms of nitrogen and partially use phosphate, which leads to a decrease in pH and Eh values. When the pH of wastewater reaches 5-4.5, hydrogen peroxide is added to the wastewater to

$Eh \leq 0.2$ V or an iron-containing coagulant to $Eh \leq 0.1$ V to reduce the content of methane and hydrogen sulfide, as well as to create unfavourable conditions for the life of sulfate reductants and mutagenic toxicity of the substrate. Thus, they create optimal conditions for the functioning of microflora in aerobic conditions and increase the efficiency of the method.

The water is then fed for biological treatment in aerobic conditions (oxygen content 4 mg/dm^3) by free-floating microflora, which ensures good physiological adaptation of microorganisms at higher concentrations of contaminants. After biological treatment under aerobic conditions by free-floating microflora, the water is fed to biological treatment under aerobic conditions (oxygen content 2 mg/dm^3) by microflora attached to inert loading material. Immobilisation increases the activity of microorganisms at lower concentrations of contaminants. This improves the conditions for microbial life in aerobic conditions.

The quality of the treated water is stable and, as a rule, does not exceed $3\text{--}5 \text{ mg/dm}^3$ for BOD₅ and suspended solids, 0.4 mg/dm^3 for ammonium nitrogen, 7 mg/dm^3 for nitrate nitrogen, and 0.5 mg/dm^3 for phosphate.

Then, the treated water stream is settled and separated, part of which is returned for treatment with microflora under anaerobic conditions, and the other part is fed for additional treatment with microflora attached to inert weighing material under aerobic conditions. As a result of creating optimal conditions for the microflora to function in aerobic conditions, the need for a large return of nitrogen to the main stream with circulating sludge or water is eliminated. Therefore, only 10% of the treated water flow is returned for microflora treatment in anaerobic conditions, and 90% is fed for post-treatment with microflora attached to inert loading material. Due to its vital activity, the wastewater depleted in substrate components is treated within the maximum permissible concentrations. Indicators of purified water: BOD₅ - $2.5 \text{ mgO}_2/\text{dm}^3$, suspended solids - 1.8 mg/dm^3 , ammonium nitrogen - 0.28 mg/dm^3 , nitrate nitrogen - 0.05 mg/dm^3 , phosphate - 0.15 mg/dm^3 .

Thus, by regulating the redox potential of wastewater, optimal conditions for the functioning of microflora in aerobic conditions of the biological treatment unit are ensured. This makes it possible to increase the efficiency of the technology in general, which is quantified by a better treatment effect and the achievement of the values of the main indicators of the source water within the permissible concentrations.

ЛЕКЦІЯ 1. ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД. БІОЛОГІЧНЕ ТА ХІМІЧНЕ ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД

В основі технології очищення стічних вод, що відноситься до господарсько-побутових підприємств, зокрема готельно-ресторанного комплексу, полягає біологічне очищення з використанням активного мулу та біоплівки. Продуктивність активного мулу та біоплівки, що забезпечують деструктивні біохімічні процеси перетворення домішок стічних вод залежить від ряду параметрів, які можна згрупувати наступним чином:

- Хімічний склад стічних вод;
- Концентрація забруднень;
- Умови проведення процесу.

Стічні води готельно-ресторанного комплексу можна охарактеризувати як складні системи, що включають домішки органічного та неорганічного, штучного та природного походження, зокрема ті, які важко окислюються або не окислюються (синтетичні барвники, ПАР тощо), які є біологічно активними речовинами (фосфати, нітрати) та токсичними для мікроорганізмів (зокрема хлориди).

За умов обмеження водних ресурсів, стічні води можна віднести до концентрованих. Для очищення стічних вод готельно-ресторанного комплексу найбільш застосовуваною є класична технологічна схема біологічного очищення, що включає первинне відстоювання, аеробне окиснення, вторинне відстоювання, ущільнення мулу та забезпечення умов його рециркуляції.

Вище вказана система очисних споруд, рекомендована до використання за невисоких концентрацій забруднень та не може забезпечити глибоке очищення стічних вод. За високих концентрацій рекомендована технологічна схема, що включає комбінацію методів аеробного та анаеробного окиснення. Даний спосіб не може забезпечити глибоке очищення стічної води тому, що не передбачає необхідне значення ступеня окиснення, який забезпечує зміни біоценозів. Для підвищення глибини очищення рекомендовані способи, що забезпечують оптимальні умови функціонування мікрофлори шляхом комбінації фізико-хімічних і біохімічних методів.

Враховуючи, що мікроорганізми активного мулу (біоплівки) засвоюють енергію хімічної реакції, яка відноситься до окисно-відновлювальної, можна стверджувати, що забезпечення оптимальних умов її функціонування пов'язане з регулюванням наступних показників: рН, окисно-відновний потенціал (ОВП), температура.

Таким чином, дослідження способів регулювання редокс-стану в системах біологічного очищення стічних вод має важливе значення для напрямку складних біохімічних процесів та забезпечення оптимальних умов функціонування мікрофлори активного мулу (біоплівки).

В таблиці 1 наведено приклад функціонуючої системи очисних споруд, що включає підсистеми первинного відстоювання та наступного біологічного очищення в аеробних умовах.

Встановлено, що показник E_h , який характеризує енергетику окисно-відновних реакцій, збільшується від 0,04 В (пре-аератор) до 0,152 В (аеротенки 1-го ступеня); показник, що характеризує окисно-відновлювальні властивості водного середовища $гН_2$ збільшується у бік окислювального середовища та змінюється від 14,78 В (пре-аератор) до 21,78 (аеротенки 2-го ступеня). Поряд з цим, значення БСК₅ в пре-аераторі 1260 мО₂/дм³. За умов, коли значення БСК₅ в пре-аераторі 1680 мгО₂/дм³, E_h змінюється від 0,09 В (пре-аератор) до 0,11 В (аеротенк 2-го ступеня), $гН_2$ від 15,7 В до 19,8 В, кінцева концентрація БСК₅ 560 мгО₂/дм³.

Таблиця 1

Характеристика роботи очисних споруд

№	Місце відбору проб	pH	Eh, В	БСК ₅ , мгО ₂ /дм ³	Фосфати, мг/дм ³
1	Пре-аератори	6,7	+0,04	1260	30
2	Первинний відстійник 1-ї лінії	6,8	+0,04	840	30
3	Аеротенк І	8,2	+0,152	56	28,8
4	Аеротенк ІІ	8,3	+0,15	56	25,2
5	Вторинний відстійник 2-ї лінії	7,5	+0,13	56	21
1	Пре-аератор	6,3	+0,09	1680	35
2	Первинний відстійник 1-ї лінії	6,5	+0,09	1064	35
3	Аеротенк І	7,7	+0,09	578,9	33
4	Аеротенк ІІ	8,0	+0,11	554,9	32
5	Вторинний відстійник 2-ї лінії	7,6	+0,09	560	31,5

Таким чином, можна зробити висновок, що ефект очищення в даному випадку недостатній та змінюється від 96% за значення БПК₅ в пре-аераторі 1260 мгО₂/ дм³ до 67% за значення БПК₅ в пре-аераторі 1680 мгО₂/ дм³. За концентрацією фосфатів ефект очищення зменшується на 20%. Зниженню ефекту очищення відповідають більш низькі значення показників (Eh, rH₂), що характеризують енергетику окисно-відновлювальних реакцій та характер водного середовища.

Для збільшення ефекту очищення стічних вод, пропонується технологія, яка ґрунтується на комбінації фізико-хімічних (відстоювання, обробка реагентами) та біологічних (окислення мікрофлорою в анаеробних та аеробних умовах)

методів. Таке поєднання методів очищення стічних вод нівелює недоліки кожного з окремих методів, що дозволяє ефективно проводити очищення, а також інтенсифікувати процеси біологічного перетворення домішок шляхом регулювання фізико-хімічних властивостей водного середовища, зокрема окисно-відновлювальних за показником Eh.

За запропонованою технологією було проведено дослідження з очищення стічних вод. Стічна вода у кількості 100 м³/добу має забруднення:

- Органічні речовини БСК₅ – 330 мгО₂/дм³;
- Азот амонійний – 40 мг/ дм³;
- Фосфати – 20 мг/ дм³.

Воду попередньо очищують від піску і плаваючих грубодисперсних домішок і подають на біологічне очищення в анаеробних умовах. В процесі життєдіяльності анаеробних гетеротрофних мікроорганізмів відбувається гідроліз органічних речовин з утворенням низькомолекулярних сполук, часткове відновлення окиснених форм азоту та часткове використання фосфатів, що призводить до зменшення значень показників рН та Eh. За досягнення значень рН стічних вод 5- 4,5, у стічну воду додають пероксид водню до $Eh \leq 0,2$ В або залізовмісний коагулянт до $Eh \leq 0,1$ В, для зменшення вмісту метану і сірководню, а також для того, щоб створювати несприятливі умови для життєдіяльності сульфат редукторів, мутагенної токсичності субстрату. Таким чином, створюють оптимальні умови функціонування мікрофлори в аеробних умовах, підвищують ефективність способу.

Далі вода подається на біологічне очищення в аеробних умовах (вміст кисню 4 мг/дм³) вільно плаваючою мікрофлорою, що забезпечує за більш високих концентрацій забруднень добру фізіологічну адаптацію мікроорганізмів. Після біологічного очищення в аеробних умовах вільно плаваючою мікрофлорою вода надходить на біологічне очищення в аеробних умовах (вміст кисню 2 мг/дм³) мікрофлорою прикріпленою на інертному завантажувальному матеріалі. Імобілізація сприяє збільшенню активності мікроорганізмів, за більш низьких

концентрацій забруднень. Таким чином покращують умови життєдіяльності мікроорганізмів в аеробних умовах.

Якісний показник очищеної води стабільний і, як правило, не перевищує по БСК₅ і зваженим речовинам 3-5 мг/дм³, по амонійному азоту – 0,4 мг/дм³, по азоту нітратів – 7 мг/дм³, по фосфатам – 0,5 мг/дм³.

Потім здійснюють відстоювання та розділення потоку очищеної води, частину з якого повертають на очищення мікрофлорою в анаеробних умовах, а іншу частину подають на доочищення мікрофлорою, прикріпленою на інертний зважувальний матеріал в аеробних умовах. В результаті створення оптимальних умов функціонування мікрофлори в аеробних умовах виключається необхідність великого повернення азоту в основний потік з циркуляційним мулом або з водою. Тому лише 10% потоку очищеної води повертають на очищення мікрофлорою в анаеробних умовах, а 90% подають на доочищення мікрофлорою, прикріпленою на інертний завантажувальний матеріал. За рахунок її життєдіяльності, в збіднених субстратними складовими стічних водах здійснюють доочищення в межах гранично-допустимих концентрацій. Показники очищеної води: БСК₅ – 2,5 мгО₂/дм³, зважені речовини – 1,8 мг/дм³, азот амонійний – 0,28 мг/дм³, азот нітратів – 0,05 мг/дм³, фосфати – 0,15 мг/дм³.

Таким чином, шляхом регулювання окисно-відновного потенціалу стічних вод, забезпечуються оптимальні умови функціонування мікрофлори в аеробних умовах блоку біологічного очищення. Це дозволяє підвищити ефективність технології загалом, що кількісно виражається кращим ефектом очищення та досягненням значень основних показників вихідної води в межах допустимих концентрацій.

LECTURE 2. PURIFICATION OF NATURAL WATERS. ION-EXCHANGE DESALINATION TECHNOLOGIES

Basic ion exchange processes and technologies

Today, ion exchange processes are used in:

- 1) water treatment in the heat and power industry, chemical industry, semiconductor manufacturing, food and pharmaceutical industries;
- 2) treatment of electroplating wastewater;
- 3) extraction of valuable trace elements from natural waters.

Industrial ion exchange technologies are divided into three stages:

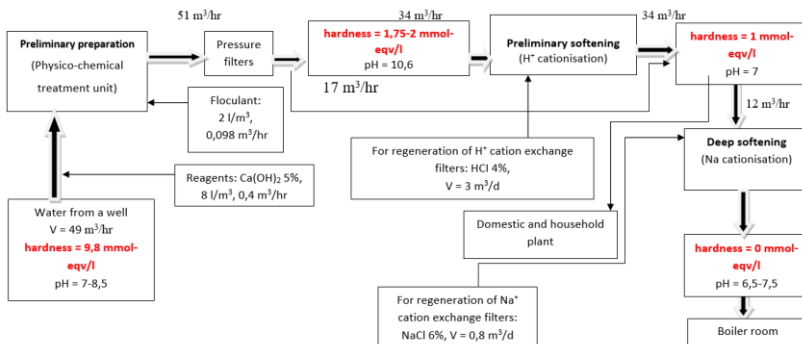
- 1) preliminary water treatment;
- 2) ion exchange process (pre-desalination/softening);
- 3) final treatment (deep desalination/softening).

Preliminary water treatment involves the removal of suspended solids and organic matter, which can contaminate the ionite layer and cause irreversible poisoning.

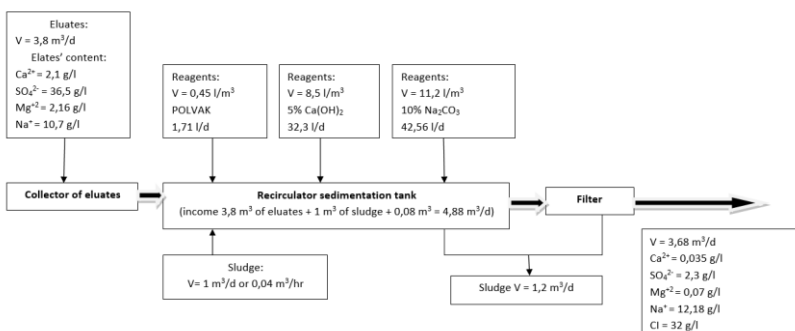
The preliminary and deep desalination/softening processes are organised according to the same principle and include four main stages:

- 1) A working cycle, during which the water to be treated passes through the ionite layer, depleting it. The working cycle ends when the concentration of the exchanged ion in the filtrate reaches the maximum permissible value.
- 2) Backwash, which is necessary to loosen the ionite bed before regeneration and remove insoluble impurities retained in the bed. After backwashing, the ionite layer is allowed to settle spontaneously.
- 3) Regeneration - the process of converting ionite to its original ionic form by passing a regeneration solution containing ions of the required grade through the ionite layer.
- 4) Direct flushing is carried out to remove the remaining regeneration solution from the ionite.

Balance scheme of water treatment for the enterprise «Protein production»

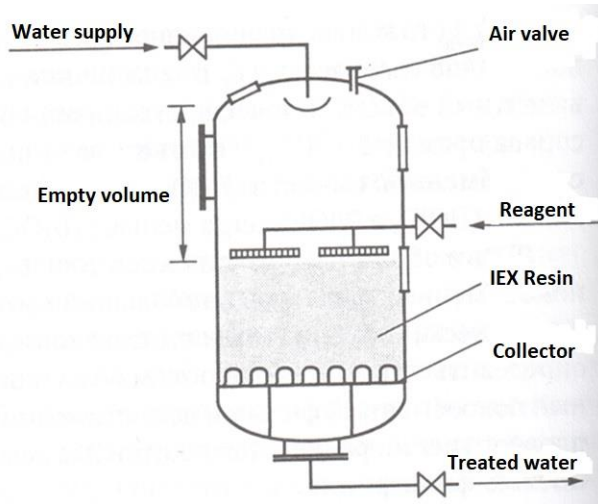


Balance scheme for eluate treatment



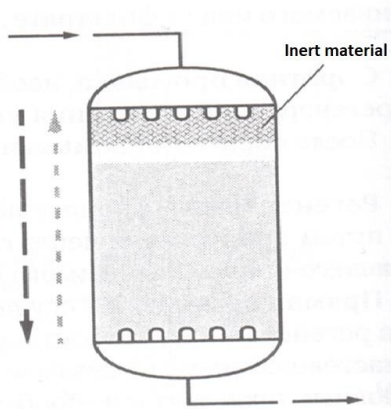
Today, two main technologies are used in water treatment practice, which differ in the flow pattern: forward and countercurrent, which differ in the direction of movement of the water to be treated and the regeneration solution.

In the case of the **traditional and widespread direct-flow technology**, the treated water and the regeneration solution move in the same direction - they are fed into the upper part of the ion exchange filter and discharged from the lower part.



Direct-flow ion exchange filter

In the case of a more modern and economical counter-current technology, such as **UPCORE**, the water to be treated and the regenerating solution move in opposite directions. As a result, ionite regeneration can be carried out faster and more efficiently, with lower reagent consumption, less industrial water, relatively low effluent volume and low overall cost.



UPCORE countercurrent ion exchange filter

In all cases, the design of ion-exchange technologies begins with a detailed analysis of the composition of the water to be treated. The main indicators are the total salt content of water, hardness, alkalinity, chloride, sulphate, nitrate, silicate acid and organic organic substances, and the content of suspended solids.

Depending on the requirements to the treated water and the composition of the source water, a softening or demineralisation scheme is selected that can be used. After that, the task of selecting the main technological parameters of ion exchange filters - volume capacity and linear filtration rate - arises.

Based on the previously selected parameters, the next step is to calculate the duration of the filter cycle and the volume of water that can be treated per filter cycle, the amount and concentration of the regenerating solution, the composition of the wastewater and the size of the apparatus.

Thus, the design of ion exchange technologies is a complex engineering task. Today, most manufacturers of ion exchange resins have developed a system for automated calculations of ion exchange technologies for their products. For example, Dow Chemical, the world's largest producer of ion exchange resins, presents CADIX software for calculating ion exchange technologies based on Dowex resins and the IXCaik system, which is focused on Amberlite ionites. The use of such systems significantly facilitates the work of designers and reduces the time spent on comparative calculations of several alternative technologies.

Basic technological schemes of softening

In general terms, the softening reaction on cationite can be written as follows:



As a result of the softening reaction, the purified water does not contain the cations Ca^{2+} , Mg^{2+} as they are replaced by sodium cations. If it is necessary to obtain softened water with some calcium and magnesium, a bypass with unsoftened water can be provided.

For softening, strongly acidic cationic compounds in the sodium form are most often used. Such filters are regenerated with a

sodium chloride solution (4-8%). Depending on the conditions, an excess of sodium chloride from its stoichiometric amount (150-250%) is usually required.

If the source water is characterised by a high salt content, softening can be carried out in two stages - first with a weak acid cation exchange agent and then with a strong acid cation exchange agent. Weak-acid cationics are also used to reduce hardness and alkalinity in waters with a high content of hydrocarbon ions HCO_3^- .

A significant disadvantage of ion exchange water softening processes is the generation of highly mineralised wastewater, which subsequently mixes with natural water and increases its salt content. For example, in the USA, where 90% of cottage owners use household softeners, restrictions are imposed on the maximum permissible salt content of wastewater discharged into the sewerage system.

The main direction of development of ion exchange softening processes is to reduce the consumption and concentration of the regeneration solution. This can be achieved by using monodisperse cationic materials, countercurrent regeneration technologies, and a starvation regeneration mode, in which the upper layers of cationic material are fully regenerated and the lower layers contain some previously sorbed ions. The combination of these techniques allows reducing the excess regeneration solution to 70-80%.

Basic technological schemes of demineralization

By replacing cations with H^+ ions and anions with OH^- ions, water can be demineralised. This principle is implemented in technological schemes with cationic and anionic filters in series. In this case, after passing through the cationic filter, bicarbonate and carbonate ions are converted into CO_2 , which is removed in a degasser to reduce the load on the anionic filter.

Types of technological schemes for ion exchange demineralisation:

Strongly acidic cationite $\rightarrow$ Degasser $\rightarrow$ Weakly basic anionite

This scheme is used to demineralise hard water. This water meets the requirements for water for medium pressure steam boilers.

Strongly acidic cationite $\rightarrow$ Degasser $\rightarrow$ Strongly basic anionite

This scheme produces demineralised water whose quality meets the requirements of most technological processes. The quality of demineralised water depends on the type of ion exchange resin regeneration and the reagents used.

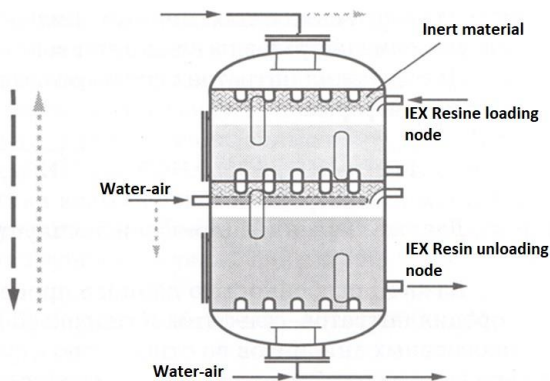
Strongly acidic cationite → Weakly basic anionite → Degasser →
Strongly basic anionite

This scheme allows to obtain demineralised water of the same quality as in the previous case, but the regeneration efficiency in this arrangement is significantly increased due to the weakly basic anionic filter, which is regenerated sequentially after the strongly basic anionic filter.

Weakly acid cationic → Strongly acid cationic → Weakly basic anionic → Degasser → Strongly basic anionic

In this case, water with high hardness and alkalinity can be demineralised. The use of weak acid cationite and weakly basic anionite can significantly reduce the cost of regeneration.

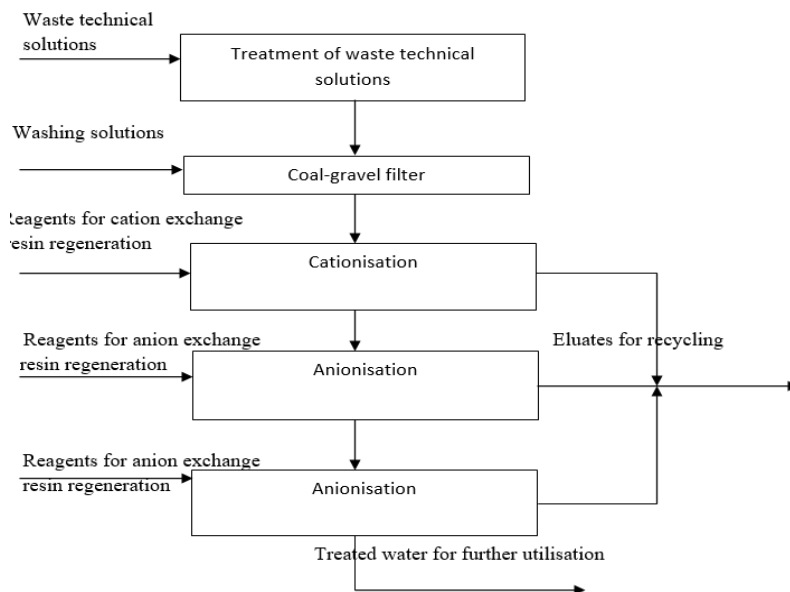
Weak-acid and strong-acid cationics can also be used in the same apparatus - a layered filter. This technique is possible because the density of weak acid cationic materials is lower than that of strong acid cationic materials. In this case, weak-acid cationics with a smaller granule diameter can also be used, which improves the separability of the components during backwashing. Layer-loaded filters are effective in countercurrent regeneration operation.



Ion exchange filter with layer-by-layer loading

Demineralisation of water can also take place in a mixed bed consisting of a strongly acidic cationite and a strongly basic anionite. For this purpose, mixed-action filters are used, in which a series of cationic and anionic exchange processes take place simultaneously.

Mixed-action filters are mainly used at the final purification stage. A significant disadvantage of mixed-action filters is the need for separate regeneration, during which cationite and anionite are separated and treated with regeneration solutions. At present, mixed-action filters are being replaced by a fundamentally new technology of water electrodisinfection.



Functional diagram of treatment of concentrated solutions and rinsing waters of electroplating production

Control on the water treatment processes

The main task of process control in ion exchange plants is to ensure that the required treatment of the feed water of a given composition and volume is achieved. The main variable to be controlled in this case is the permissible duration of filter operation between two subsequent regenerations.

The control methods used depend on the specific process being carried out at the facility. For example: sodium cationisation. Typically, in sodium cationisation, the process is stopped and the ionite is regenerated when the hardness of the treated water reaches the specified maximum permissible value.

Ion exchange filters typically measure the following: water filtration rate, inlet and outlet water pressure. On certain lines, speed or pressure regulators may be provided. For sodium cationisation, it is recommended to measure the temperature.

Thus, ion exchange is the most environmentally hazardous technology for deep water purification, and therefore, the justification of its application requires preliminary research. The latter requirement is especially pronounced in connection with the sharp aggravation of the current environmental situation.

ЛЕКЦІЯ 2. ОЧИЩЕННЯ ПРИРОДНИХ ВОД. ІОНООБМІННІ ТЕХНОЛОГІЇ ПОМ'ЯКШЕННЯ ТА ЗНЕСОЛЕННЯ

Основні йоннообмінні процеси та технології

Сьогодні йоннообмінні процеси використовуються у:

1) підготовці води в теплоенергетиці, хімічній промисловості, у виробництві напівпровідників, у харчовій та фармацевтичній галузі;

2) очистці стічних вод гальванічного виробництва;

3) вилучення цінних мікроелементів з природних вод.

Промислові йоннообмінні технології умовно поділяють на три стадії:

1) попередня підготовка води;

2) процес йонного обміну (попереднє знесолення/ пом'якшення);

3) фінішна очистка (глибоке знесолення/ пом'якшення).

Попередня підготовка води полягає у видаленні зважених часток та органічних речовин, які призводять до забруднення шару йоніту та його незворотнього отруєння.

Процеси попереднього і глибокого знесолення/ пом'якшення організовані за одним принципом та включають чотири основні стадії:

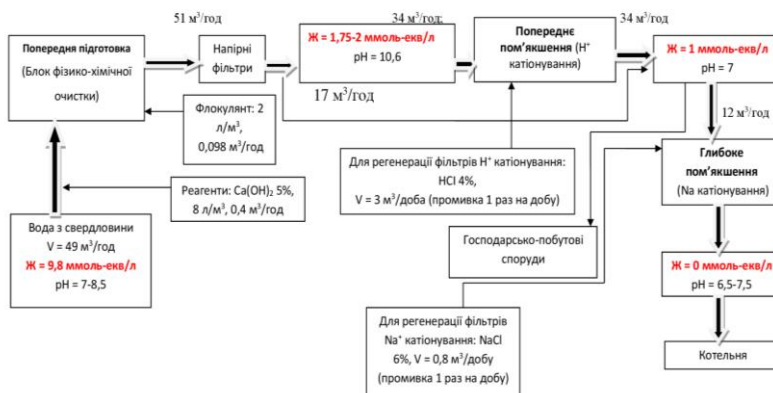
1) Робочий цикл, в ході якого вода, що очищається, проходить шар йоніту, виснажуючи його. Робочий цикл закінчується коли концентрація обмінюваного йону у фільтраті досягає гранично допустимого значення.

2) Зворотня промивка, що необхідна для розпушування шару йоніту перед регенерацією та видалення нерозчинних домішок, що затримані у шарі. Після зворотної промивки шару йоніту дають мимовільно осісти.

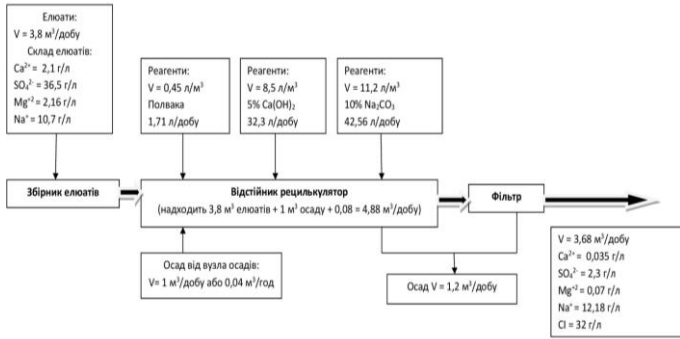
3) Регенерація – процес перевodu йоніту у вихідну йонну форму шляхом пропускання через його шар регенераційного розчину, що містить йони необхідного сорту.

4) Пряма промивка – здійснюється для видалення з йоніту залишку регенераційного розчину.

Балансова схема водопідготовки для підприємства «Protein production»

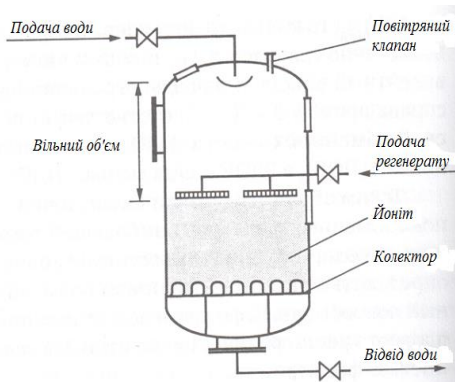


Баласова схема обробки елюатів



Сьогодні у практиці водопідготовки знаходять застосування дві основні технології, які відрізняються за схемою потоків: прямотічна і протитічна, що відрізняються напрямком руху води, що очищається та регенераційного розчину.

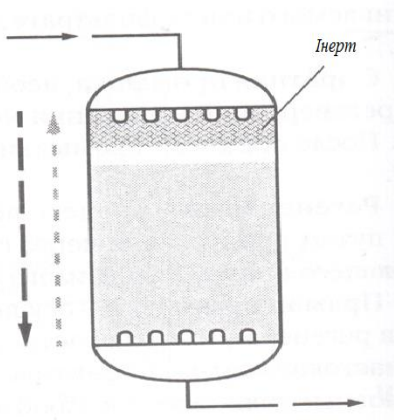
У випадку традиційної та широко розповсюдженої прямотічної технології вода, що обробляється та регенераційний розчин рухаються в одному напрямку – подаються у верхню частину йоннообмінного фільтра та виводяться з нижньої.



Прямотічний йоннообмінний фільтр

У випадку більш сучасної та економічної протитічної технології, наприклад UPCORE, вода, що обробляється та

регенеруючий розчин рухаються у протилежних напрямках. За рахунок цього регенерація йонітів може бути здійснена швидше та ефективніше, з більш низькою витратою реагентів, меншою кількістю промислових вод, відносно невеликим об'ємом стоків та низькою загальною собівартістю.



Протитічний йоннообмінний фільтр UPCORE

У всіх випадках проектування йоннообмінних технологій починається з детального аналізу складу води, що підлягає йоннообмінній обробці. Основними показниками є загальний солевміст води, жорсткість, лужність, вміст хлоридів, сульфатів, нітратів, концентрації силікатної кислоти і органічних речовин, вміст зважених речовин.

В залежності від вимог до очищеної води та складу вихідної води вибирають схему пом'якшення чи демінералізації, яка може бути використана. Після чого повстає задача вибору основних технологічних параметрів йоннообмінних фільтрів – об'ємної продуктивності та лінійної швидкості фільтрування.

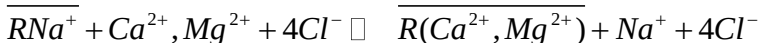
Грунтуючись на раніш вибраних параметрах, далі проводиться розрахунок тривалості фільтроциклу та об'єму води, яка може бути очищена за один фільтроцикл, кількості і концентрації регенеруючого розчину, складу стічних вод та розмірів апарату.

Таким чином, проектування йоннообмінних технологій являє собою комплексну інженерну задачу. Сьогодні більшість

виробників іоннообмінних смол розробили систему автоматизованих розрахунків іоннообмінних технологій для своїх продуктів. Так, наприклад, компанія Dow Chemical, найбільший світовий виробник іоннообмінних смол, представляє програмний продукт CADIX для розрахунків іоннообмінних технологій, що ґрунтуються на використанні смол Dowex, і системи IXCaik, що орієнтована на йоніти Amberlite. Використання таких систем суттєво облегшує роботу проєктантів та скорочує витрати часу на порівняльні розрахунки декількох альтернативних технологій.

Основні технологічні схеми пом'якшення

У загальному вигляді реакція пом'якшення на катіоніті може бути записана наступним чином:



У результаті реакції пом'якшення очищена вода не містить катіонів Ca^{2+} та Mg^{2+} , так як вони заміщаються катіонами натрію. Якщо необхідно отримати пом'якшену воду з деяким вмістом кальцію та магнію, може бути організований байпас непом'якшеної водою.

Для пом'якшення частіше всього використовуються сильнокислотні катіоніти у натрієвій формі. Регенерація таких фільтрів здійснюється розчином натрій хлориду (4-8%). В залежності від умов, зазвичай потребується надлишок натрій хлориду від його стехіометричної кількості (150-250%).

Якщо вихідна вода характеризується високим солевмістом, пом'якшення може бути реалізовано у дві стадії – спочатку на слабокислотному, а потім на сильнокислотному катіоніті. Слабокислотні катіоніти також використовуються для зниження твердості і лужності у водах з високим вмістом гідрокарбонат-йонів HCO_3^- .

Суттєвим недоліком іоннообмінних процесів пом'якшення води є утворення високомінералізованих стічних вод, які згодом змішуються з природними водами та збільшують їх солевміст. Так, в США, де побутовими пом'якшувачами користуються 90% власників котеджів,

вводяться обмеження на гранично допустимий солевміст стічної води, що скидається у систему каналізації.

Основним напрямком розвитку процесів йоннообмінного пом'якшення є зниження витрати та концентрації регенераційного розчину. Цього можливо досягнути, використовуючи монодисперсні катіоніти, технології з протитічною регенерацією, а також режим голодної регенерації, при якому верхні шари катіоніту регеновані повністю, а нижні містять деяку кількість раніш сорбованих йонів. Поєднання зазначених прийомів дозволяє знизити надлишок регенераційного розчину до 70-80%.

Основні технологічні схеми знесолення

Шляхом заміни катіонів на йони H^+ і аніонів на OH^- можна демінералізувати воду. Цей принцип реалізується у технологічних схемах з послідовно включеними катіонітовими та аніонітовими фільтрами. При цьому після проходження катіонітового фільтра гідрокарбонат- і карбонат- йони переходять у CO_2 , який видаляється у дегазаторі для того, щоб знизити навантаження на аніонітовий фільтр.

Види технологічних схем йоннообмінної демінералізації:

Сильнокислотний катіоніт → Дегазатор → Слабоосновний аніоніт

Ця схема використовується для демінералізації жорсткої води. Така вода відповідає вимогам, що пред'являються до води для котлів з виробітком водяної пари середнього тиску.

Сильнокислотний катіоніт → Дегазатор → Сильноосновний аніоніт

Ця схема дозволяє отримати демінералізовану воду, якість якої задовольняє вимогам більшості технологічних процесів. Якість демінералізованої води залежить від типу регенерації йоннообмінних смол та реагентів, що застосовуються.

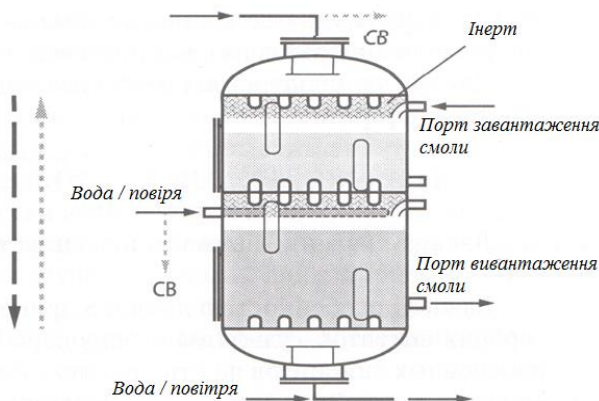
Сильнокислотний катіоніт → Слабоосновний аніоніт → Дегазатор → Сильноосновний аніоніт

Така схема дозволяє отримати демінералізовану воду такої ж якості, як і у попередньому випадку, але ефективність регенерації при такій компоновці суттєво підвищується за рахунок фільтра з слабоосновним аніонітом, який регенерується послідовно після фільтра з сильноосновним аніонітом.

Слабокислотний катіоніт → Сильнокислотний катіоніт → Слабоосновний аніоніт → Дегазатор → Сильноосновний аніоніт

У такому випадку демінералізації може бути піддана вода з високою жорсткістю та лужністю. Застосування слабокислотного катіоніту та слабоосновного аніоніту дозволяє суттєво скоротити витрати на регенерацію.

Слабокислотні і сильнокислотні катіоніти можуть також використовуватись в одному апараті – фільтрі з пошаровим завантаженням. Такий технологічний прийом можливий, так як щільність слабокислотних катіонітів менше щільності сильнокислотних. У цьому випадку також можуть використовуватись слабокислотні катіоніти з меншим діаметром гранул, що покращує розділюваність компонентів при зворотній промивці. Фільтри з пошаровим завантаженням ефективні при роботі у режимі з протитічною регенерацією.



Йоннообмінний фільтр з пошаровим завантаженням

Демінералізація води може також проходити у змішаному шарі, що складається з сильнокислотного катіоніту і сильноосновного аніоніту. Для цієї цілі застосовуються фільтри змішаної дії, у яких одночасно проходить серія процесів катіонного і аніонного обміну.

Фільтри змішаної дії в основному застосовуються на стадії фінішної очистки. Суттєвим недоліком фільтрів змішаної дії є необхідність проведення роздільної регенерації, під час якої катіоніт і аніоніт розділяються і обробляються регенераційними розчинами. В теперішній час на зміну фільтрам змішаної дії приходить принципово нова технологія електродеїонізації води.

Очищення стічних вод гальванічного виробництва

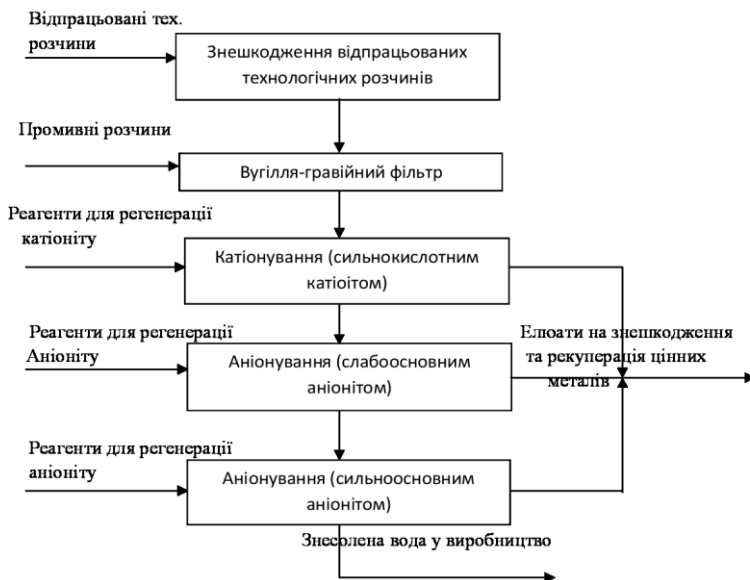
Відомо, що очищення стічних вод гальванічного виробництва розпочинають з їхньої обробки на катіонітовому фільтрі із сульфогрупою, яка має найбільшу спорідненість до багатозарядних йонів металів стічних вод гальванічного виробництва (здатність взаємодіяти з багатозарядними йонами).

Посилення вищевказаної взаємодії зумовлює необхідність застосування надлишку реагентів для регенерації.

У технології, здебільшого практикують хімічну регенерацію катіонітів кислотами.

З огляду на те, що для повної регенерації катіоніта у натрієвій формі потрібен 2,5 кратний надлишок кислоти, що відповідно обмежує застосування елюатів (регенераційних розчинів) для їхньої утилізації.

Після катіонного обміну воду піддають декарбонізації для видалення карбон (II) оксиду та можливості проведення аніонного обміну. Процес аніонного обміну реалізують послідовно спочатку на низькоосновних, а далі на високо основних аніонообмінних фільтрах.



Функціональна схема очищення концентрованих розчинів та промивних вод гальванічного виробництва

Контроль за процесом обробки води

Головна задача контролю за процесом на йоннообмінних установках полягає в тому, щоб забезпечити необхідну обробку вихідної води заданого складу та об'єму. Основною змінною величиною, що підлягає в цьому випадку контролю є допустима тривалість роботи фільтрів між двома наступними регенераціями.

Способи контролю, що застосовуються залежать від конкретного процесу, що здійснюється на даній установці. Наприклад: натрій катіонування. Зазвичай при натрій катіонуванні зупиняється процес і проводиться регенерація йоніту в той момент, коли жорсткість води, що обробляється досягає заданої максимально допустимої величини.

На йоннообмінних фільтрах зазвичай вимірюють: швидкість фільтрування води, напір води на вході та виході. На певних лініях можуть бути передбачені регулятори швидкості або напору. При натрій катіонуванні, рекомендовано вимірювати температуру.

Таким чином, йонний обмін – це найбільш екологічно небезпечна технологія для глибокого очищення води, а тому обґрунтування його застосування потребує попередніх досліджень. Вимога останнього особливо виразна у зв'язку із різким загостренням на сучасному етапі екологічної ситуації.

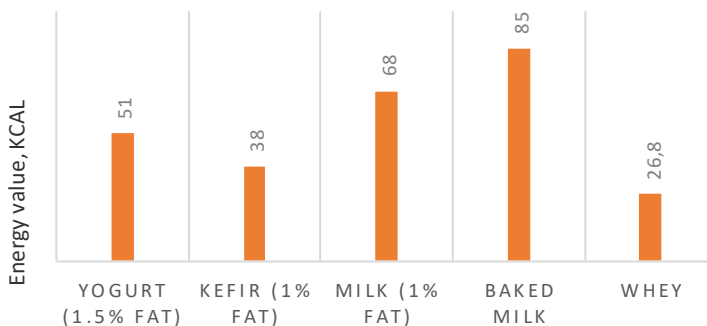
LECTURE 3. WASTE PROCESSING. WHEY AS A VALUABLE FOOD PRODUCT

Whey is a multi-component system obtained after the extraction of fats and proteins from milk; it is a homogeneous mixture consisting of dissolved substances and an aqueous environment. In whey, proteins, fats, carbohydrates, and water-soluble vitamins are in a molecularly dispersed state, and minerals are electrolytically dissociated and form hydrated ions. Each component of this complex polydisperse system has its value. With the development of the whey utilisation issue, a new approach has been developed, according to which whey today is considered the nutritional power of the future. To comprehensively and systematically reveal the value of all whey components, in this review it is proposed that these components be considered within the framework of the nutritional value concept, which will enable a description of the energy potential along with outlining the potential to meet the physiological needs of a human organism (Fig. 1).

In analysing the nutritional value of whey, it is necessary to reveal the full range of useful properties of its components, including providing the physiological needs degree of a person in basic nutrients and energy. These valuable properties are based on data connected with the chemical composition of whey, considering its potential consumption in appropriate quantities. Moreover, not only should it be the content of biologically active food substances that should be determined, but also their ratio, digestibility, and good

quality. In order to analyse the nutritional value of whey, a list of narrower concepts was chosen, which will be revealed below, in particular: energy value, the biological value of individual components (proteins, fats, carbohydrates, vitamins, minerals), physiological value and physiological activity.

The relatively balanced and low-calorie content of whey makes it attractive from the utilisation point of view. It can be utilised for the organisation of rational nutrition according to certain types of diet, after appropriate preparation or in its raw state, for weight loss and sports purposes in particular. However, in its raw form, whey can only be used in limited cases.



Currently, cheese production is undertaken through two main types of production: 1) production of products corresponding to traditional technologies and equipment (farms, craft productions) and 2) production of products using modernisation complexes in the direction of full automation of technological process control and maximisation of protein curd extraction. In the production of cheese according to the second type, an increase in the yield of protein curd is achieved by the initial stabilisation and normalisation of the original milk with the addition of food additives, periwinkles, flavor enhancers and substitutes, and antibiotics, as well as by the use of powerful synthetic enzymes at the curd extraction stage, which through biochemical reactions cause processes of maximum gluing of protein components. Whey after such a production process cannot be used for further processing or its direct consumption in raw state. When the obtained whey comes from the first type of cheese

production, it has a high potential for further processing and can also be used in a raw state for the organisation of rational nutrition.

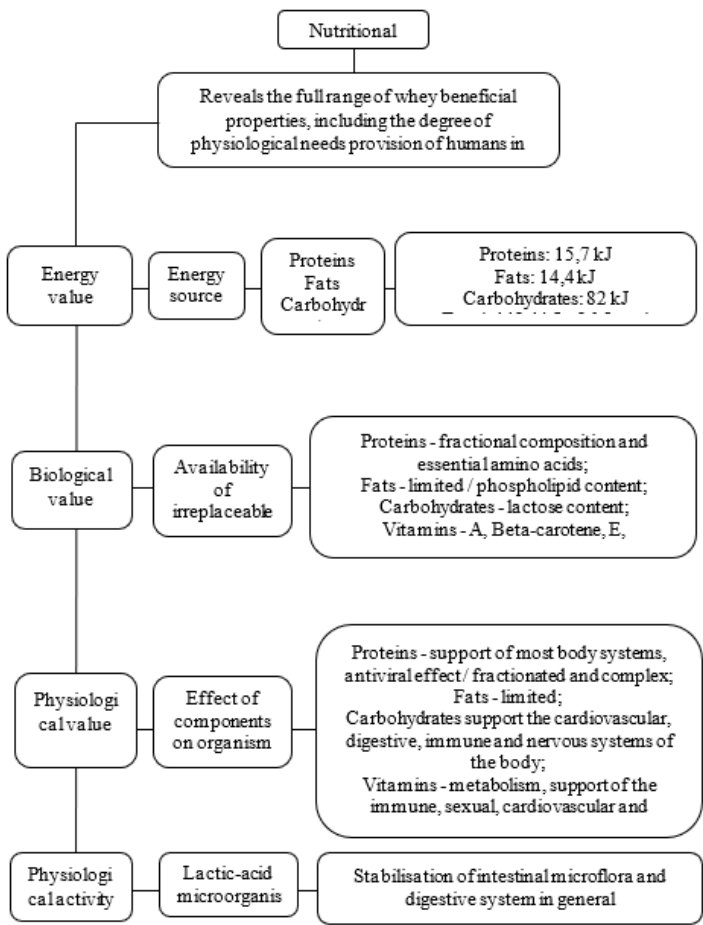
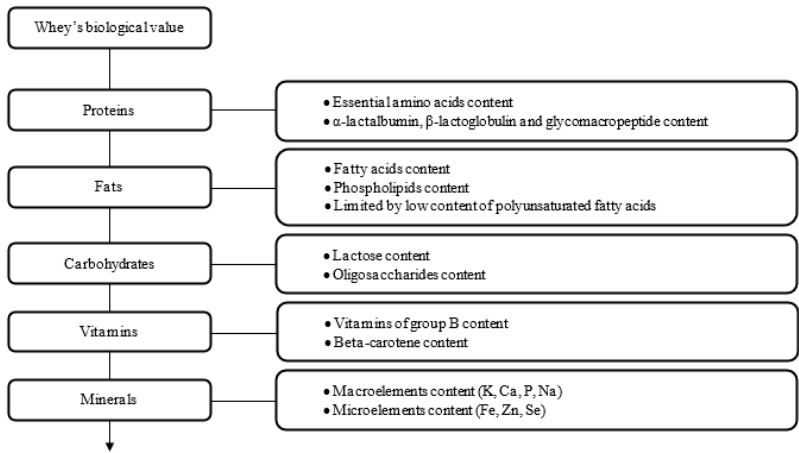


Fig. 1. Nutritional value of whey and its components

The biological value of whey can be determined by the presence of irreplaceable components that are not synthesised in the human body or are synthesised slowly and in limited quantities.

When characterising the biological value of whey, the biological value of proteins, fats, carbohydrates, vitamins, and minerals will be separately considered.



Biological Value of Whey Proteins

Whey proteins constitute about 14% of all whey dry substances and have a wide range of fractional compositions (Table 2). The percentage ratio between the main protein fractions can vary depending on the type of whey, which is determined by the production of which cheeses comes from. Moreover, twenty-two amino acids are involved in the processes of homeostasis of the human body, of which 8 (leucine, isoleucine, tryptophan, valine, threonine, lysine, methionine, and phenylalanine) are indispensable because they are not synthesised in the body. Considering the complex nature of all whey proteins, all essential amino acids are present in whey in high concentrations; their mass fraction in whey protein is shown in Table 3. Additionally, the amino acids are absorbed and assimilated by the body to a greater extent than from other protein sources such as wheat, corn, and soy. That is, the biological value of whey proteins is largely determined by the high degree of correspondence of amino acid composition to the body's needs for amino acids for protein synthesis.

Table 2.

Fractional composition of whey proteins

№	Protein fraction	Content in whey protein, %
1	β - lactoglobulins	30-50
2	α - lactalbumins	20
3	Bovine serum albumin	8
4	Immunoglobulins	10 - 15
5	Lactoferrin	1,5 - 2
6	Lactoperoxidase	0,5
7	Glyco-macropptide	15 - 20
8	Proteose-peptone fraction	8 - 10
9	The smallest (Osteopontin, Lysozyme, Chatepzin, Ryblnuclease I, Acid Phosphatase)	1 - 2

Table 3.

Mass fraction of essential amino acids in whey protein

№	Amino acid	The mass fraction, %	Protein content, g/100 g	"Perfect" protein, g/100 g
1	Leucine	9,5	12,3	7
2	Isoleucine	6,0	6,2	4
3	Tryptophan	2,2	3,4	3,5
4	Valin	6,0	5,7	5
5	Threonine	6,9	5,2	4
6	Lysine	8,8	9,1	5,5
7	Methionine	1,9	2,3	3,5
8	Phenylalanine	2,3	4,4	6,0

Several protein fractions occupy a leading place in the supply of different types of amino acids to the human body. β -lactoglobulins are a source of essential amino acids with a branched chain (leucine, isoleucine, and valine), α -lactalbumins are a source of more than 60% of all amino acids of whey proteins, in particular essential and

branched. Bovine serum albumin (BSA) is a source of more than 538 amino acids, and lactoperoxidase contains 612 amino acid residues. Glyco-macropptide, which is rich in leucine, isoleucine, and valine, while at the same time lacking phenylalanine, deserves special attention. Therefore, it is a valuable ingredient for patients with phenylketonuria - a disease in which the body is unable to metabolise phenylalanine, which leads to impaired brain development. It is the absence of phenylalanine that makes the glyco-macropptide, as a whey protein fraction, biologically valuable in the reverse order. In general, each protein fraction as well as each of the essential amino has a certain physiological value, bringing beneficial effects for individual systems of the human body, which will be revealed in 3.3.1.

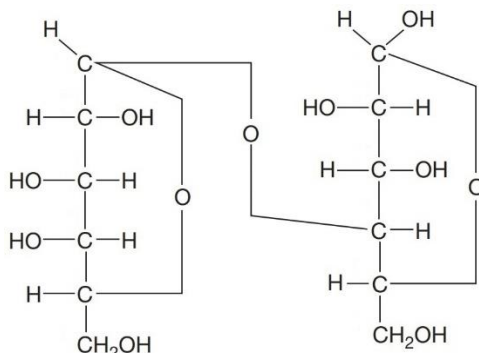
Biological Value of Whey Fats

Like the protein content, the milk fat content of whey does not have a stable value and varies depending on the type of whey and whether it has been separated. Milk fat is better absorbed by the human body compared to other sources of fat. For whey from cheese production, the fat content is 0.04-0.6%; from the production of soft cheeses - 0.2-0.3%; and for the production of casein, it is 0.3%. The generally accepted average content of milk fat is up to 0.5%, up to 7.7% of its content in milk. Whey milk fat is a mixture of esters of triatomic alcohol glycerol and fatty acids, which contains ten saturated and ten unsaturated fatty acids, totaling more than 200 fatty acids. This content of fatty acids qualitatively and quantitatively distinguishes it from other types of food fats, which partially justifies its biological value for the human body. However, the main factor determining the biological value of whey fats is the content of polyunsaturated fatty acids in them. In whey, it is insignificant, particularly in polyunsaturated fatty acids such as linoleic, and linolenic. An insufficient supply of linoleic acid causes a violation of the arachidonic acid biosynthesis in the body, which is included in large quantities in its structural lipids. A balanced diet should contain 8 to 10 g of these acids, which are not synthesised in the body. Unfortunately, their mass fraction of the total whey fatty acid composition is about 0.2%; that is, they must be present, which limits the value of whey fats.

Considering the biological value of whey fats, it is also advisable to mention that the composition of fatty membranes includes phospholipids, in particular lecithin, sphingomyelin, and kephalins, which are the most important representatives of complex lipids containing alcohol residues, fatty acids, phosphoric acid, and nitrogenous compounds. They have a specific physiological value for the human body, which will be revealed below. Thus, it can be concluded that the biological value of whey milk fat is limited, considering the significant content of fatty acids and the poor content of polyunsaturated acids in all types of whey.

Biological Value of Whey Carbohydrates

The composition of whey carbohydrates is similar to that of the original milk: about 90% of all whey carbohydrates is lactose disaccharide (Fig. 5). Arabinose, lactulose, and amyloid are also present in the whey. With the traditional method of milk processing, about 96% of lactose is transferred from milk to whey. For whey, from the production of cheese, the lactose content is 3.9-4.9%; for the production of soft cheese: 3.2-5.1%; and for the production of casein: 3.5-5.2%. The biological value of whey carbohydrates lies precisely in the entry of a significant amount of lactose into the body, which decomposes into glucose and galactose. Lactose is an excellent source of energy (carbohydrates are the predominant energy component of whey) and provides various favorable effects, which will be described in 3.3.3. Along with this, the biological value of carbohydrates is limited due to the high percentage of the population with hypolactasia. Hypolactasia is common in different parts of the world, from 5 to 100% of the population. Particularly, close to 5% in Northern Europe, 35% in Eastern Europe and 100% in Southeast Asia. This prevalence of hypolactasia indicates that for a significant part of consumers, the hydrocarbon composition of milk whey is unacceptable for consumption and, as a result, has no biological value.



Moreover, in describing the biological value of whey carbohydrates, oligosaccharides content which are associated with improved health outcomes in infants and gut health, should be considered. Mature bovine milk contains limited amount of oligosaccharides (BMO) (i.e., 100 mg/l), consisting mainly of acidic and neutral BMO, the amount of which decreases rapidly during further processing, in particular cheese production. However, studies have shown the presence of more than 20 oligosaccharides in whey permeate, half of which have a similar composition to those in human milk. The latter highlight the need for further research regarding the potential of whey oligosaccharides utilizing n in infant formula and pharmaceutical products. For example, the content of human-milk oligosaccharide 3'SL (up to 94 mg/l) was determined in colostrum whey permeate. Further, an increase in the purity (ca. 98%) of BMO in colostrum whey permeate was achieved by nanofiltration. Additionally, there are several recent studies on the production of galacto-oligosaccharides from whey utilizing commercial β -galactosidase, which have shown an alternative perspective of whey as a source of oligosaccharides. Therefore, despite the low content of oligosaccharides, whey has the potential to become a source of biotherapeutic oligosaccharides and provide new options for the dairy industry in the future.

Biological Value of Whey Vitamins

Whey contains many fat-soluble and water-soluble vitamins, which, when ingested, participate in cellular and tissue metabolism

and substantially affect the functional state of many physiological systems, the reactivity of the body, and its protective mechanisms. The following groups of vitamins are present in whey: fat-soluble - A, E, Beta-carotene; water-soluble - B₁, B₂, B₅, B₆, B₉, B₄, B₃. Such an exhaustive list is a major factor in the overall biological value of whey. The content of some whey vitamins is shown in Table 4. In addition, particular vitamins have individual properties that add to the biological value of whey. As an example, beta-carotene is a provitamin that can be converted into vitamin A if the body needs it, thus providing all the necessary beneficial effects; it also has the ability to accumulate in the subcutaneous tissue with excessive consumption without harming the body. Vitamins B₁ and B₂ (thiamine and riboflavin) ensure the conversion of nutrients into energy; they participate in the body's energy supply processes. Generally, vitamins of group B, which are contained in most products from the average daily diet of a person, are predominant in the whey composition. Therefore, although the risk of a deficiency of these substances is minimal, an individual may have a greater need. Studies show that the consumption of large amounts of B vitamins is still beneficial even for entirely healthy organisms. Additionally, as with vitamins, whey utilisation in its raw state may be useful for an individual.

Table 4.

The content of some vitamins in whey, µg/kg

Whey	Vitamins							
	B ₃	A	E	B ₁	B ₂	B ₆	B ₄	Beta-carotene
Cheese	140	22	227	315	1389	524	160000	13
Soft cheese	140	110	315	263	1107	478	140000	75

Overall, the biological value of whey vitamins is determined by the comprehensive composition and the predominant content of group B vitamins. Each vitamin group has positive effect on the systems of the human body, which will be described in 3.3.4.

The Biological Value of Whey Minerals

Whey's minerals biological value is determined by the absolute content and ratio among different minerals, which is essential given the minerals' specific effect on the human body's metabolic processes. Almost all mineral substances of milk pass into the whey, as well as minerals introduced in the production of the main product and compounds from the surfaces of the equipment. Conventionally, they can be divided into two groups: macroelements (K, Ca, Mg, Na, P) and microelements (Fe, Mn, Cu, Se, Zn, Se). Table 5 shows the characteristics of the main mineral substances content of whey from the production of cheeses. Data from Table 5 indicates that the predominant macroelements in whey are potassium, calcium, phosphorus, and sodium. Such predominance is explained by the initial composition of the milk raw material itself, along with the addition of calcium (II) chloride in most traditional technologies at the stage of fermentation and protein curd formation. Among the microelements, there is a substantial content of iron and zinc, which also reflects the original composition of milk. Furthermore, selenium in whey is present as part of its protein fractions (immunoglobulins, BSA, β -lactoglobulin, and α -lactalbumin), and in combination with free amino acids (selenomethionine and selenocystine). Selenium content in whey is distributed among those categories approximately 65% and 35%, respectively. Additionally, the high content of calcium, phosphorus, and potassium in whey determines its biological value in the context of mineral substances, which provides several positive effects on the systems and metabolism of the human body, which will be elaborated in 3.3.5.

In conclusion, the biological value of whey is determined by a broad spectrum of the fractional content of the proteins and their amino acid composition, the presence of a large number of fatty acids, a certain quantity of phospholipids, a high content of lactose, a comprehensive list of vitamins with a predominant group B, as well as a substantial range of macro-elements namely calcium, phosphorus, and potassium. Along with this, the biological value is limited due to the practical absence of polyunsaturated fatty acids, and the unacceptability of the whey hydrocarbon composition for a

major proportion of the population. However, when entering the human body, the biologically valuable components of whey provide several positive effects, revealed within the framework of the following specific concept - physiological value. Therefore, the following section of the research will discuss the contribution of individual groups of whey components and their positive physiological effects on the body.

Table 5.

The mineral content of whey				
Mineral component	Mineral content, mg/100 g		Mineral content, %	
	Soft cheeses	Cheeses	Soft cheeses	Cheeses
K	153	123	2,25	1,84
Ca	92,8	36,5	1,36	0,54
Mg	9,0	6,5	0,13	0,1
Na	39,8	45,5	0,58	0,68
P	58,0	43,0	0,85	0,64
Mineral component	Mineral content, µg/100g			
	Soft cheeses		Cheeses	
Fe	106		89	
Mn	2,8		0,6	
Cu	6,8		3,5	
Zn	234		11	
Se	200 - 300			

Whey's Physiological Value Analysis

Whey's physiological value is determined by the ability of its biological components to influence the nervous, cardiovascular, digestive, and other systems of the human body, as well as the body's resistance to infectious diseases (Fig. 6).

The Physiological Value of Whey Proteins

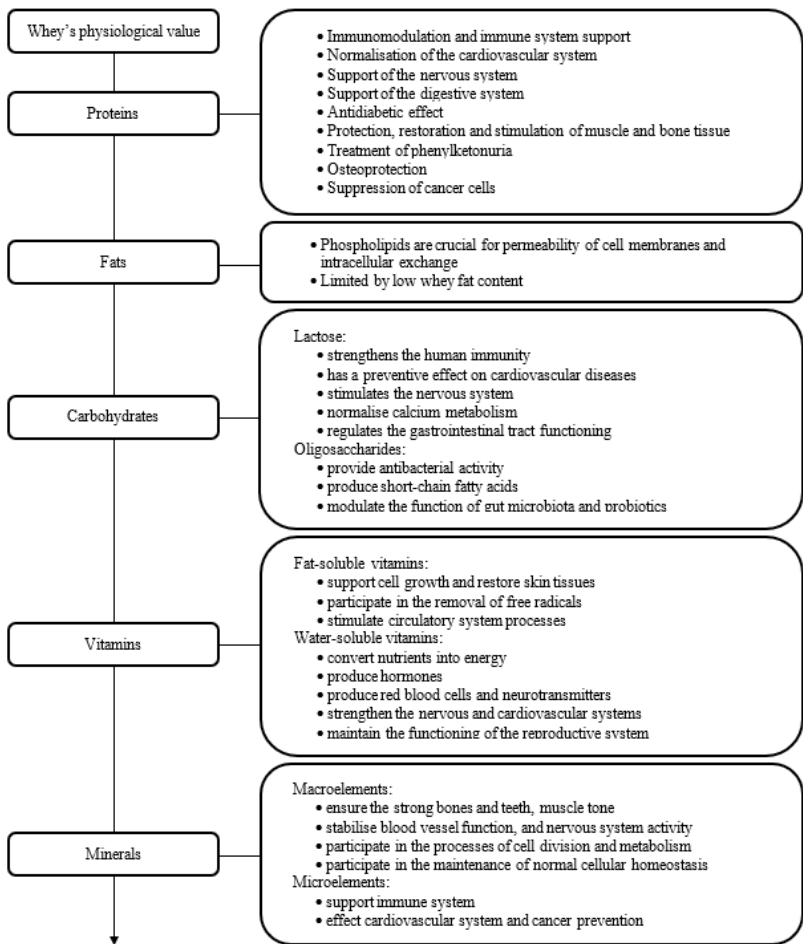
Each whey protein fraction has its physiological value, although at first, the - β -lactoglobulin fraction will be considered. β -lactoglobulin binds fat-soluble vitamins, which increases their

bioavailability, transports vitamins A and D, binds minerals, and transports them through the intestinal walls. Essential amino acids with a branched chain, the source of which is this protein, ensure the safety of muscles and glycogen during physical exertion. Additionally, it has an increased ability to gel, determined by the protein concentration, heating temperature, pH, presence of other proteins, and mineral substances. The tendency of β -Lg to form gels with metal ions such as iron may have critical nutritional implications. Whey peptides derived from β -lactoglobulin have a robust antihypertensive effect. Experimental studies have shown that this main fraction of whey protein prevents osteoclast-mediated bone resorption. Thus, this fraction is not found in human milk and is an allergen for infants, and can also cause allergic reactions in adults.

Additionally, α -lactalbumin will be the second fraction to be considered. α -lactalbumin regulates lactose synthesis, its content being proportional to the lactose concentration in milk. It is a source of the essential amino acid tryptophan, which helps regulate sleep processes, mood, and stress in individuals. It is an effective agent for the delivery of medicinal substances and an adsorbent of cellular glucose for the prevention of type II diabetes. Studies have been conducted that indicate the apoptotic activity of the protein against cancer cells; in the case of its stabilisation by interaction with oleic acid, it becomes lethal to cancer cells. It is α -lactalbumin which is the primary protein of human milk and compounds 40% of the whey proteins in it.

Furthermore, BSA and immunoglobulins will be the third group fraction to be considered. BSA in milk is physically and immunologically identical to the serum albumin in the blood, which is the main blood protein. BSA is a multifunctional protein that binds ligands, fatty acids, taste compounds, and metal ions. Additionally, BAS can potentially inhibit human breast cancer cells when included in in-vitro cell culture with tumor cells. Peptides formed from protein hydrolysis can have beneficial biological activity. Immunoglobulins are essential component of the body's defense against disease-causing bacteria, viruses, and toxins and play an essential role in immune system function. Several studies have shown that milk immunoglobulins are effective against rotaviruses and other

infections. In addition, the intake of this protein group reduces the risk of gastrointestinal disorders, including travelers' diarrhea. It is helpful for consumption to strengthen immunity for all age groups, from babies to older adults.



Moreover, smaller fractions such as lactoferrin, lactoperoxidase and proteose-peptone fraction will be the fourth group fraction to be

considered. Lactoferrin, as well as α -lactalbumin, are the predominant fractions of human milk. Lactoferrin promotes the growth of beneficial bacteria and improves immunomodulatory activity due to antimicrobial and antitoxin activity against a wide range of bacteria and yeast. Additionally, it provides protection against hepatitis, influenza, and cytomegalovirus. Research suggests that parenterally introduced lactoferrin may have important antitumor properties. The protein can locally bind iron in tissues affecting cell growth and differentiation, embryonic development, myelopoiesis, adhesion of endothelial cells, and the formation of cytokines and chemokines. Further, lactoperoxidase is a protective factor against infectious microbes and suppresses the growth of bacteria. Finally, the proteose-peptone fraction can be used as a bifidogenic factor, has immune-stimulating properties, and has a probacterial effect.

As mentioned earlier, the intake of whey proteins in the body ensures the intake of substantial amino acids, particularly the essential ones. The predominant fractions are leucine (9.5%), lysine (8.8%), threonine (6.9%), isoleucine (6.0%), and valine (6.0%). At first, leucine and lysine physiological values will be considered. Branched-chain amino acids - especially leucine play an important role in regulating metabolism and glucose, stimulating muscle tissue through a daily exercise program, and promoting fat loss. Leucine participates in the exchange of proteins and carbohydrates and reduces the content of sugar in the blood. In joint action with valine, it provides protection for muscle tissue and promotes the restoration of bone tissue and skin. Lysine normalises blood circulation, maintains the necessary hemoglobin levels, promotes calcium absorption, has antiviral properties, and participates in the synthesising of antibodies, hormones, and enzymes.

Additionally, minor fractions will be considered. Threonine supports the metabolism of proteins, fats, collagen, and elastin. Furthermore, threonine is an immunostimulator, which intensifies the synthesis processes of antibodies, immune proteins, digestive enzymes, and glycerin. Isoleucine contributes to the increase of physical and mental endurance of a person, promotes the flow of biochemical processes related to energy synthesis, stabilises the level

of sugar and insulin, and has a determining role in the production of hemoglobin. Further to the abovementioned function of protecting muscle tissue, valine participates in the processes of tissue growth and synthesis, provides protection for the nerve endings of the myelin sheath, regulates nerve processes, and synthesises and ensures against the accumulation of glycogen. Moreover, tryptophan takes part in the process of tissue recovery, and methionine prevents fatty kidney and lung damage, and promotes insulin formation. Further, it is associated with the intake of cysteine amino acid with whey proteins, which is involved in the intracellular production of glutathione. This biologically active tripeptide that supports the body's immune system. In general, whey is rich in the content of antioxidant peptides, which have radioprotective properties and provide protection for the skin of the human body.

Further, in relation to whey proteins in a complex, without fractional separation, the general effect on the systems of the human organism can be characterised by the following list of main effects: anti-inflammatory and antioxidant; immunomodulation and immune system support; normalisation of the cardiovascular system; support of the nervous system; support of the digestive system; antidiabetic effect; protection, restoration and stimulation of muscle and bone tissue; treatment of phenylketonuria; osteoprotection; dermatoprotective; suppression of obesity processes; suppression of cancer cells. This list is incomplete, due to the fact that there is a much more expansive list of indirect effects, which, together with direct effects, form the physiological value of whey proteins. However, the question of the implementation of whey's physiological value is debatable because the impact of individual protein fractions can be more valuable in particular cases compared to the effects of the whey proteins complex, which will be described in the next paragraph.

Describing the above-mentioned issue, substantial to consider that human milk does not contain β -lactoglobulin. Thus, the dairy industry cannot produce products enriched with α -lactalbumin from cow's milk for inclusion in infant nutrition. The presence of β -lactoglobulin in infant products can lead to allergic reactions, which may disrupt the normal intake of nutrients, leading to a disruption in

the infant's development. At the same time, the fractional composition of whey proteins is identical to human milk, characterised by a high content of lactoferrin and α -lactalbumin, the second largest fraction. However, the allergen β -lactoglobulin has the largest part of all whey proteins. These elements highlight the need for the fractional extraction of proteins, mainly to obtain complexes enriched with α -lactalbumin that equally lack the presence of β -lactoglobulin, to get individually targeted protein fractions. Furthermore, glycomacropeptide, a part of the proteose-peptone fraction, is characterised by the absence of phenylalanine, tryptophan, tyrosine, histidine, arginine, and cysteine residues. The absence of phenylalanine makes this protein a valuable nutritional ingredient for patients with phenylketonuria. Phenylketonuria is a genetic disorder; approximately 15,000 people in the United States suffer from this deficiency. Thus, the targeted extraction of glycomacropeptide allows for the creation of conditions that enhance the nutritional profile of such patients. Therefore, the fractional extraction of specific whey proteins will allow the production of infant products with given protein content and the production of specialised nutritional supplements of a medicinal and kinesthetic nature. An outcome that can be achieved in a variety of ways, including chromatography, membrane filtration, aggregation/precipitation, and enzyme hydrolysis, which will be discussed below.

In conclusion, the physiological value of whey proteins is characterised by a wide range of positive effects on most human body systems and antiviral effects. These effects are derived due to a high essential amino-acid content in each protein group and the extensive fractional content of proteins. Healthy impacts can be realised both by complex utilisation and by separate protein fractions utilisation. Due to several limitations this issue requires further research.

The Physiological Value of Whey Fats

In describing the physiological value of whey fats, it should be noted that they contain a critically low content of polyunsaturated fatty acids, particularly linoleic and linolenic acids, which take an active part in metabolic processes, remove excess cholesterol from

the body, and normalise liver function. However, fat membranes contain phospholipids, which are the main component of the biomembranes of cellular structures and play a crucial role in the permeability of cell membranes and intracellular exchange. The most critical among them are lecithin, sphingomyelin, and kephalins. Further, lecithin is involved in the formation of cell membranes, especially in nerve fibres and the brain. Sphingomyelin is a component of the plasma membrane and participates in many signalling pathways. The metabolism of sphingomyelin creates many products that play an essential role in the cell. Moreover, this phospholipid plays a critical role in signalling pathway: degradation and the synthesis of sphingomyelin produce important second messengers for signal transduction. Additionally, kephalins support the nervous system and contain ionised acid and amine residues, which gives them a polar character and largely determines their functional properties. Nevertheless, when whey undergoes separation, the fat content is minimised to approximately zero. Considering the last factor and the characterised effect of whey fats on human body systems, it can be concluded that they have limited physiological value.

The Physiological Value of Whey Carbohydrates

The physiological value of whey carbohydrates is primarily related to the effect of lactose on the organism. Lactose provides a positive effect on the processes of strengthening human immunity, has a preventive effect on cardiovascular diseases, improves and stimulates the state of the nervous system, normalises calcium metabolism and helps the intestines absorb vitamins B and C. Additionally, lactose helps regulate the functioning of the gastrointestinal tract, promoting the growth of beneficial bacteria such as lactobacilli, which prevents the occurrence of putrefactive processes in the intestines. The physiological potential of whey oligosaccharides has also been studied to some extent. Studies have demonstrated that BMO possess antibacterial properties, protect HEP-2 cells from enteropathogens, produce short-chain fatty acids, regulates gut microbiota, body immunity, modulate function and abundance of gut microbiota and probiotics, and provides number of

other health benefits. These effects describe the potential of whey oligosaccharides for further utilisation in biologically active ingredients and functional foods, but they are limited due to a significantly low content. Consequently, the physiological value of whey carbohydrates lies in their positive influence and support of the cardiovascular, digestive, immune, and nervous systems.

The Physiological Value of Whey Vitamins

It will be alternately discussed the effects of fat-soluble and water-soluble vitamins on human body. In the group of fat-soluble vitamins, the effects of vitamins A, E, and beta-carotene will be considered. Vitamin A is called the most critical fat-soluble micronutrient, which aids embryonic development while also supporting the process of cell growth, as well as the restoration of skin tissues and intestinal membranes. It also improves vision and immune system functioning. Additionally, it is an antioxidant and participates in the removal of free radicals. Beta-carotene is a provitamin used to prevent vitamin A deficiency and can be converted to vitamin A, the consumption of more than 30 mg of which can provide a tanning effect on human skin. Vitamin E is an antioxidant, participates in the biosynthesis of heme and proteins, and participates in the processes of cellular metabolism. Moreover, this vitamin improves tissue oxygen consumption, stimulates circulatory system processes, and provides an immunomodulatory effect.

In the water-soluble block, vitamins B₁, B₂, B₅, B₆, B₉, B₄, and B₃ will be considered. Vitamin B₁ normalises metabolism and converts nutrients into energy, while Vitamin B₂ converts food into energy and reduces the negative effects of oxidative stress. Moreover, Vitamin B₅ is involved in hormone production, metabolism, and cholesterol production, while Vitamin B₆ is utilised by the body to produce red blood cells and neurotransmitters. Further, Vitamin B₉ participates in the processes of cell growth, the transformation of red and white blood cells, normalisation of cell division, and reduces the negative impact of oxidative stress. Furthermore, Vitamin B₄ takes an active part in collapsing fats, maintaining the condition and functioning of the reproductive

system. In addition, this vitamin activates the regeneration of soft tissues, especially liver tissues, which prevents the process of stone formation in the bile ducts and bladder. Further, B₄ has a preventive effect on diseases of the cardiovascular system, and it is a regulator of the cholesterol level in the blood. Thus, vitamins of group B are predominant, the application of which ensures a decrease in the level of mental fatigue and stress, a decrease in the level of anxiety, and prevents the development of depression.

Furthermore, vitamin B₃ participates in ensuring the reactions of carbohydrates. Moreover, B₃ provides protein, lipid, and water-mineral metabolism, and enhances the functioning of the nervous and cardiovascular systems. Additionally, B₃ supports the activity of the gastrointestinal tract, liver, kidneys, and brain. Overall, the physiological value of whey vitamins is provided by their participation in the processes of normal and cellular metabolism, and support of the immune, reproductive, cardiovascular, and nervous systems, with a predominant content of B vitamins.

The Physiological Value of Whey Minerals

The physiological value of whey minerals can be characterised by the influence of the predominant macro elements calcium, potassium, phosphorus, and sodium on body systems. Firstly, calcium plays a role in maintaining strong bones and teeth, muscle tone, blood vessel function, and nervous system activity. Maintaining calcium in a balanced state in the body reduces the risk of fractures, osteoporosis, diabetes, and vitamin deficiency; further, calcium plays a key role in the processes of muscle contraction, ovum activation, building strong bones and teeth, blood clotting, nervous system function, heart rate regulation, and fluid balance inside cells. Secondly, potassium regulates the functioning of muscle fibres, blood vessels, and the heart muscle, stabilises the processing of sugar into energy, normalises the level of electrolytes in the blood, and stimulates the work of the nervous system. Moreover, a special function of potassium is to alkalise the blood and regulate the level of magnesium in the blood serum. This mineral normalises the conduction of nerve fibres, contributing to the elimination of depressive disorders, stabilising the brain, increasing the access of

oxygen to this organ, and ensuring stable functioning of the cardiovascular system. Thirdly, phosphorus participates in the processes of cell division, energy synthesis, and metabolism, stabilises the work of the central nervous system, and ensures the balance of phosphorus and calcium. Lastly, sodium participates in the maintenance of normal cellular homeostasis and in the regulation of fluid and electrolyte balance and blood pressure. This mineral may have a substantial effect on maintaining the volume of extracellular fluid thanks to its osmotic effect; further, this mineral participates in the quickening of muscle and nerve cells and the transport of nutrients through plasma membranes. Additionally, in describing the influence of the minor microelements content, selenium needs to be considered. This mineral improves multiple aspects of immune system (e.g. viral handling), participates in the recycling of glutathione and thioredoxin, exhibits antioxidant properties and provides several benefits for cardiovascular system and cancer prevention. However, there is an open discussion on possible allergic reactions due to the selenium content in whey proteins, such as α -lactalbumin, which can affect the production of infant formula and requires further research. Overall, support of the locomotor, cardiovascular, and nervous systems of the human organism under the influence of whey macroelements characterises the physiological value of its mineral components.

In conclusion, the physiological value of whey is provided due to a wide range of positive effects on the systems of the human body and resistance to infectious diseases. Particularly, whey proteins and amino acids support most of the body's systems and have a high antiviral effect, which can be implemented both as a complex and as separate fractions. Whey fats have a limited physiological value due to the influence of phospholipids and the critically low content of polyunsaturated fatty acids; this is due to minimisation of fat content during whey separation. Additionally, carbohydrates positively affect and support the cardiovascular, digestive, immune, and nervous systems. Further, whey vitamins participate in the processes of normal and cellular metabolism, and support the immune, reproductive, cardiovascular, and nervous systems, with a predominant content of B vitamins. Mineral substances mainly

support the functioning of the musculoskeletal, cardiovascular, and nervous systems under the influence of whey macroelements. Therefore, the physiological value of whey can be characterised as considerable and comprehensive.

Whey's Physiological Activity Analysis

The physiological activity of whey can be characterised by the content of bacteria and their waste products, as well as by their effects. Since whey is suitable environment for the development of various microorganisms, its composition and properties may change, and its quality indicators may deteriorate during the collection and storage processes. These processes are facilitated by substantial inoculation of whey with lactic acid bacteria during the production process and inoculation with various microorganisms during collection, storage, and further processing. In addition, lactose undergoes enzymatic hydrolysis, as a result of which titrated acidity increases, pH decreases, turbidity appears, hydrolysis of proteins and fat occurs, taste and smell change, and unwanted components accumulate. Moreover, particular microorganisms play a critical role in the above-mentioned processes and thus need to be considered.

In describing the particular microorganism content of whey, lactic acid bacteria have a critical role, which is performed in homofermentative and heterofermentative processes. This type of bacteria may be separated into two groups: 1) utilised in the production of hard cheeses (*Str. thermophilus*, *L. Helveticus*, *L. Casei*, *L. Lactis*, *Propionibacterium Shermanii*, among others); 2) utilised in the production of soft cheeses (*Streptococcuslactis*, *Lactobacillus Leuconostoc bacilli*, which are facultative anaerobes, *Bacterium linens*, *Penicillium candidum*, *P. Album*, *P. Proqueforti*, *P. Camamberti*, *B. Casei*, *Geotrichum candidum*, among others). In addition to the listed groups of microorganisms, whey undergoes various instances of secondary insemination that occur during the technological process. These inseminations include lactic and acetic acid bacteria, *Escherichia coli*, mold fungi, yeast, and spore microorganisms.

Additionally, whey lactic acid bacteria have scientifically proven antagonistic properties against the putrefactive microflora of

the digestive tract. For example, *Lactobacillus bacteria* are utilised in the production of probiotics as a means of preventing intestinal dysbacteriosis and other disorders of the intestinal microflora. Furthermore, in the digestive tract, these bacteria inhibit pathogens due to the release of lactic and acetic acids. This antagonism of lactic acid bacteria is also ensured due to the synthesis of specific antibiotics, such as nizyme, diplococcin, acidophilin, lactocidin. Moreover, the adhesiveness, participation in the functioning of the body's immune system, and stimulation of antitumor activity provided by lactic acid bacteria are essential. Further, the entry of bacteria into the body ensures a reduction of the toxic effect on the body of chemotherapy in the treatment of tumor-related diseases. As a result, the high content of lactic acid bacteria in whey allows us to claim that it is physiologically active, and also that the presence of probiotic bacteria ensures the ability of whey to autolyse in the human stomach and improve the processes of digestion and metabolism, which from the point of view of the A.M. Ugolev adequate nutrition theory testifies to its high value.

ЛЕКЦІЯ 3. ПЕРЕРОБКА ВІДХОДІВ. СИРОВАТКА ЯК ЦІННИЙ ХАРЧОВИЙ ПРОДУК

Молочна сироватка є багатокomпонентною системою, яку водночас можна розглядати як істинний розчин, що отримують після вилучення жирів та білків з молока, тобто як гомогенну суміш, що складається з розчинених речовин та водного середовища. У молочній сироватці білки, жири, вуглеводи та водорозчинні вітаміни перебувають в молекулярно-дисперсному стані, а мінеральні речовини електролітично дисоційовані та утворюють гідратовані йони.

Кожен з компонентів цієї складної полідисперсної системи має свою окерму цінність. З розвитком питання утилізації молочної сироватки, сформувався новий підхід згідно з яким сироватка сьогодні вважається поживною силою майбутнього.

Для того, щоб всесторонньо та систематизовано розкрити цінність усіх компонентів сироватки, запропоновано розглядати їх в рамках поняття харчової цінності та її складових, що

дозволить описати енергетичний потенціал та потенціал для забезпечення фізіологічних потреб людини (Рис. 1).

Аналізуючи **харчову цінність сироватки** необхідно розкрити всю повноту корисних властивостей її компонентів, включаючи ступінь забезпечення фізіологічних потреб людини в основних поживних речовинах, енергію і органолептичні властивості. Вони ґрунтуються на даних про хімічний склад сироватки з урахуванням її потенційного споживання у відповідних кількостях. Визначальними факторами є не тільки вміст біологічно активних харчових речовин, але також їх співвідношення, засвоюваність і доброякісність. Для проведення аналізу харчової цінності молочної сироватки було обрано перелік вужчих понять, які будуть розкриті нижче, зокрема: енергетична цінність, біологічна цінність окремих компонентів (білки, жири, вуглеводи, вітаміни, мінеральні речовини), фізіологічна цінність, фізіологічна активність.

Енергетична цінність (калорійність) сироватки характеризує кількість енергії, яка вивільняється в процесі її біологічного окиснення для подальшого використання у фізіологічних потребах людського організму.

Вчені стверджують, що для організму важливо, які групи харчових речовин забезпечують калорійність живлення. Для нормальної життєдіяльності людини, білки повинні складати, в середньому 12%, жири 30-35% від загальної калорійності раціону, решта – вуглеводи. Результати розрахунків енергетичної цінності вказують на те, що білки у сироватці складають близько 14%, жири 12,8%, а вуглеводи 73% від загальної калорійності продукту. Тобто сироватка є збалансована за білками та близька за часткою вуглеводів, проте наявний певний дисбаланс калорійності за жирами. Загальна калорійність сироватки складає 26,8 ккал і може бути охарактеризована як незначана.

Відносна збалансованість за змістом та низька калорійність сироватки робить її привабливою з точки зору використання, після відповідної підготовки або ж у сирому стані, для організації раціонального харчування за певними типами дієти, зокрема для схуднення та спортивного

спрямування. Однак у сирому стані сироватка не може бути використана в обмежених випадках.

Сьогодні виробництво сирів здійснюється за двома основними типами виробництва:

1. Виробництво продукції, що відповідає традиційним технологіям та обладнанню (фермерські господарства, крафтові виробництва).

2. Виробництво продукції з використанням комплексів модернізації в напрямку повної автоматизації керування технологічним процесом та максимізації вилучення білкового згустку.

У виробництві сирів за другим типом, здебільшого збільшення виходу білкового згустку досягається шляхом попередньої стабілізації та нормалізації вихідного молока з використанням харчових добавок, барвинків, підсилювачів та замінювачів смаку, антибіотиків, а також шляхом застосування потужних синтетичних ферментів на стадії вилучення згустку, які шляхом біохімічних реакцій викликають процеси максимального склеювання білкових компонентів. Сироватка після такого виробничого процесу не може бути застосована ні для подальшої переробки ні для її безпосереднього споживання у сирому стані. У випадку коли отримана сироватка надходить з під виробництва сирів першого типу, вона має високий потенціал для подальшої переробки, а також може бути використана в сирому стані для організації раціонального харчування. Це твердження має підґрунтя не тільки в контексті енергетичної цінності, що буде розкрито нижче.

Біологічна цінність сироватки визначається наявністю незамінних компонентів, що не синтезуються в людському організмі або синтезуються повільно і в обмеженій кількості. Характеризуючи біологічну цінність сироватки ми розглянемо окремо поняття біологічної цінності білків, жирів, вуглеводів, вітамінів і мінеральних речовин.

Біологічна цінність сироваткових білків. Сироваткові білки складають близько 14% усіх сухих речовин сироватки та мають широкий спектр фракційного складу (Таблиця 1). Процентне співвідношення між основними білковими

фракціями може коливатись залежно від типу сироватки, що визначається з під виробництва яких сирів вона надходить.

Таблиця 1

Фракційний склад сироваткових білків

№ з/п	Білкова фракція	Частка від білкового складу сироватки, %
1	β -лактоглобуліни (β -Lg)	30-50
2	α -лактоальбуміни (α -La)	20
3	Сироватковий альбумін (BSA)	8
4	Імунноглобуліни (Igs)	10-15
5	Лактоферин (Lf)	1,5-2
6	Лактопероксидаза (LPO)	0,5
7	Гліко-макропетид (GMP)	15-20
8	Протеозо-пептонова фракція (PP3)	8-10
9	Найдрібніші (Остеопонтин, Лісозим, Чатепзин, Риблнуклеаза I, Кисла Фосфатаза тощо)	1-2

Наявність широкого спектру сироваткових білків, які не синтезуються або повільно синтезуються організмом людини свідчить про першопочатковий високий потенціал біологічної цінності сироватки.

Біологічна цінність сироваткових білків у більшій мірі визначається ступенем відповідності їх амінокислотного складу потребам організму в амінокислотах для синтезу білків, а також здатністю до перетравлювання. В процесах гомеостазу організму людини бере участь 22 амінокислоти, з яких 8 (лейцин, ізолейцин, триптофан, валін, треонін, лізин, метіонін, фенілаланін) є незамінними, оскільки вони не синтезуються в організмі. Взявши до уваги комплекс усіх сироваткових білків, усі незамінні амінокислоти є присутніми в сироватці, їх масова частка у сироватковому білку наведена в Таблиці 2.

Таблиця 2

Масова частка незамінних амінокислот у сироватковому білку

№ з/п	Амінокислота	Масова частка, %	Вміст в білках, г/100 г	«Ідеальний» білок, г/100 г
1	Лейцин	9,5	12,3	7
2	Ізолейцин	6,0	6,2	4
3	Триптофан	2,2	3,4	3,5
4	Валін	6,0	5,7	5
5	Треонін	6,9	5,2	4
6	Лізин	8,8	9,1	5,5
7	Метіонін	1,9	2,3	3,5
8	Фенілаланін	2,3	4,4	6,0

Вчені стверджують, що важливою є збалансованість незамінних амінокислот, зокрема співвідношення есенціальних амінокислот: триптофан, метіонін і лізин. Оптимальне їх співвідношення 1: 2: 4. Дані з Таблиці 2 свідчать про те, що співвідношення триптофану та лізину в сироватковому білку є збалансованим, тоді як спостерігається певна нестача та дизбаланс за вмістом метіоніну. Незамінні амінокислоти у сироватці не тільки присутні у високій концентрації, але також і поглинаються та засвоюються організмом у більшій мірі, ніж з інших джерел білка, такими як пшениця, кукурудза та соя.

Ряд білкових фракцій займає провідне місце у постачанні в організм людини амінокислот різних типів. β -лактоглобуліни є джерелом незамінних амінокислот з розгалуженим ланцюгом (лейцин, ізолейцин та валін), λ -лактоальбуміни є джерелом більш як 60% усіх амінокислот сироваткових білків, зокрема незамінних та розгалужених, сироватковий альбумін є джерелом загалом більш як 538 амінокислот, а лактопероксидаза містить 612 амінокислотних залишків.

Окремої уваги заслуговує гліко-макропетид, який є багатим на лейцин, ізолейцин та валін, але водночас має відсутність фенілаланіну. Тому він є цінним інгредієнтом для пацієнтів з фенілкетонурією – захворюванням за якого організм

не здатний метаболізувати фенілаланін, що призводить до порушень розвитку мозку. Саме відсутність фенілаланіну робить гліко-макропептид, як білкову сироваткову фракцію біологічно цінним у зворотньому порядку.

Загалом, кожна білкова фракція а також кожна з незамінних амінокислот мають у свою чергу певну фізіологічну цінність привносячи корисні ефекти для окремих систем людського організму, що буде розкрито нижче.

Біологічна цінність жирів сироватки. Так як і вміст білків, вміст молочного жиру в сироватці не має стабільного значення та варіюється залежно від типу сироватки, а також залежно від того чи піддавалась вона сепаруванню. Молочний жир засвоюється краще людським організмом, у порівнянні з іншими джерелами жирів.

Для сироватки з під виробництва твердих сирів вміст жиру складає 0,04-0,6 %, з під виробництва м'яких сирів - 0,2-0,3 %, з під виробництва казеїну - 0,3 %. Загальноприйняте усереднене значення вмісту молочного жиру складає до 0,5%, це є до 7,7% його вмісту в молоці.

Молочний жир сироватки являє собою суміш складних ефірів трьохатомного спирту гліцерину і жирних кислот, яка містить в собі 10 насичених і 10 ненасичених жирних кислот, загалом понад 200 жирних кислот. Такий вміст жирних кислот якісно та кількісно відрізняє його від інших видів харчових жирів, що частково обґрунтовує його біологічну цінність для людського організму. Поряд з цим, він є носієм жиророзчинних вітамінів, а також джерелом синтезу незамінних амінокислот.

Однак, основним фактором, що визначає біологічну цінність сироваткових жирів є вміст в них поліненасичених жирних кислот. У сироватці він є незначним, зокрема таких поліненасичених жирних кислот як ліолева, ліоленова. Недостатнє надходження ліолевої кислоти викликає в організмі порушення біосинтезу арахідонової кислоти, що входить у великій кількості в його структурні ліпіди. У збалансованому раціоні повинно бути від 8 до 10 г цих кислот, а в організмі вони не синтезуються. Нажаль, їх масова частка від усього

жирнокислотного складу сироватки складає близько 0,2%, тобто вони практично відсутні у молочній сироватці.

Розглядаючи біологічну цінність жирів сироватки доцільно також згадати те, що до складу жирових оболонок входять фосфоліпіди, зокрема лецитин, сфінгомієлін, кефаліни, які є найважливішими представники складних ліпідів, що містять залишки спиртів, жирних кислот, фосфорної кислоти, а також азотисті сполуки. Вони мають певну фізіологічну цінність для людського організму, що буде розкрито нижче.

Таким чином, можна зробити висновок про обмеженість біологічної цінності молочного жиру сироватки, з урахуванням значного вмісту жирних кислот та бідного вмісту визначальних полінасінених кислот.

Біологічна цінність вуглеводів сироватки. Склад вуглеводів сироватки аналогічний до складу вихідного молока. Близько 90% усіх вуглеводів сироватки складає дисахарид лактоза. З-під кисломолочного сиру, у сироватці міститься до 1,8% глюкози, що пояснюється гідролізом лактози в процесі виробництва кисломолочного сиру та потрапляння залишків цього моносахариду в сироватку. Також у сироватці присутні арабіноза, лактулоза та амілоїд.

При традиційному способі переробки молока, до 96% лактози переходить з молока в молочну сироватку. Для сироватки з під виробництва твердих сирів вміст лактози складає 3,9-4,9%, з під виробництва м'яких сирів – 3,2-5,1%, з під виробництва казеїну – 3,5-5,2%.

Біологічна цінність вуглеводів сироватки полягає саме у надходженні значної кількості лактози в організм, яка в свою чергу розкладаючись на глюкозу та галактозу є чудовим джерелом енергії (вуглеводи переважаюча енергоскладова сироватки) та забезпечує ряд позитивних ефектів, що буде описано нижче при розгляді фізіологічної цінності сироватки.

Поряд з цим, біологічна цінність вуглеводів є дещо обмеженою враховуючи високий відсоток населення, що має гіполактазію. Гіполактазія поширена в різних частинах світу від 5 до 100% населення, зокрема до 5% в північній Європі, до 35% в Україні та до 100% у південно-східній Азії. Це свідчить про те,

що для значної частини споживачів, вуглеводневий склад молочної сироватки є неїприйнятним для сповживання і як наслідок не складає біологічної цінності взагалі.

Біологічна цінність вітамінів сироватки. Молочна сироватка містить багато жиророзчинних та водорозчинних вітамінів, які при потраплянні в організм беруть участь в клітинному і тканинному обміні речовин, істотно впливають на функціональний стан багатьох фізіологічних систем, на реактивність організму і його захисні механізми. У молочній сироватці присутні наступні групи вітамінів: жиророзчинні – А, Е, Бета-каротин; водорозчинні - В₁, В₂, В₅, В₆, В₉, В₄, РР. Такий широкий перелік є значним фактором до загальної біологічної цінності сироватки. Вміст деяких сироваткових вітамінів наведено у Таблиці 3.

Таблиця 3

Вміст деяких з вітамінів у молочній сироватці, мкг/кг

Сироватка	Вітамін							РР
	Бета-каротин	А	Е	В ₁	В ₂	В ₆	В ₄	
Підсирна	13	22	227	315	1389	524	160000	140
Творожна	75	110	315	263	1107	478	140000	140

Певні вітаміни мають індивідуальні властивості, що додаються до біологічної цінності сироватки. Зокрема, Бета-каротин є провітаміном та може перетворюватися на вітамін А, якщо це необхідно організму, таким чином забезпечивши усі необхідні корисні ефекти, а також має здатність до накопичення в підшкірній клітковині за надлишкового споживання без нанесення шкоди організму. Вітаміни В₁ та В₂ (тіамін та рибофлавін) забезпечують перетворення поживних речовин в енергію, тобто беруть участь у процесах постачання енергії в організм.

Загалом, переважаючими у складі сироватки є вітаміни групи В, що містяться у більшості продуктів із середнього щоденного раціону людини. Тому ризик виникнення дефіциту цих речовин мінімальний, однак індивідуально може виникати

більша потреба. Дослідження свідчать про те, що надходження у великих кількостях вітамінів групи В є всеодно корисним навіть для цілком здорових організмів. Це дозволяє стверджувати, що у випадку вживання сироватки у сирому стані, це буде корисно для будь-якого організму в контексті вмісту вітамінів.

Таким чином, біологічна цінність вітамінів сироватки обумовлюється їх широким складом та переважаючим вмістом вітамінів групи В. Кожна з груп вітамінів має свій позитивний ефект для систем людського організму, що буде пізніше описано в рамках фізіологічної цінності сироватки.

Біологічна цінність мінеральних речовин сироватки визначається їх абсолютним вмістом і співвідношенням між собою у сироватці, що є важливим з огляду на їх специфічну дію на обмінні процеси в людському організмі. У сироватку переходять практично усі мінеральні речовини молока, а також мінеральні речовини, які вводяться у виробництві основного продукту і з'єднання з поверхонь обладнання. Умовно їх можна розділити на 2 групи: макроелементи (К, Са, Mg, Na, Р) та мікроелементи (Fe, Mn, Cu, Se, Zn). У Таблиці 4 наведено характеристику вмісту основних мінеральних речовин сироватки з під виробництва твердих та м'яких сирів.

Дані з Таблиці 4 свідчать про те, що переважаючими макроелементами в сироватці є калій, кальцій, фосфор та натрій. Це пояснюється вихідним складом безпосередньо молочної сировини, а також внесенням кальцію (II) хлориду у більшості традиційних технологіях на стадії сквашування та формування білкового згустку. Серед мікроелементів значний вміст заліза та цинку, що також відображає вихідний склад молока.

Значний вміст кальцію, фосфору та калію у сироватці зобумовлює її біологічну цінність в контексті мінеральних речовин, що забезпечує ряд позитивних ефектів для систем та метаболізму людського організму, що буде розкрито нижче.

Таблиця 4

Вміст мінеральних речовин молочної сироватки

Мінеральний компонент	Вміст мінералів, мг/100 г		Вміст мінералів, %	
	М'які сири	Тверді сири	М'які сири	Тверді сири
K	153	123	2,25	1,84
Ca	92,8	36,5	1,36	0,54
Mg	9,0	6,5	0,13	0,1
Na	39,8	45,5	0,58	0,68
P	58,0	43,0	0,85	0,64
	Вміст мінералів, мкг/100г			
Fe	106	89		
Mn	2,8	0,6		
Cu	6,8	3,5		
Zn	234	11		

Таким чином, біологічна цінність сироватки обумовлена широким спектром фракційного вмісту білків та їх амінокислотним складом, наявністю значної кількості жирних кислот, певною кількістю фосфоліпідів, високим вмістом лактози, широким переліком вітамінів з переважаючою групою В, а також значним вмістом макроелементів кальцію, фосфору та калію. Водночас, біологічна цінність є дещо обмеженою з огляду на практичну відсутність полінасичених жирних кислот, а також неприйнятність вуглеводного складу сироватки для значного відсотку населення. Потрапляючи в людський організм, біологічно цінні компоненти молочної сироватки забезпечують ряд позитивних ефектів, що розкриваються в рамках наступного вузького поняття— фізіологічної цінності.

Фізіологічна цінність сироватки визначається здатністю її біологічно цінних компонентів впливати на нервову, серцево-судинну, травну та інші системи людського організму, а також на протидію організму інфекційним захворюванням. У цьому блоці пропонуємо розглянути внесок кожної окремої групи компонентів сироватки та їх корисні ефекти для організму.

Кожна з *білкових фракцій* сироватки має свою фізіологічну цінність.

β -Лактоглобулін зв'язує жиророзчинні вітаміни, що підвищує їх біодоступність, транспортує вітаміни А і D, зв'язує мінерали і транспортує їх через стінки кишечника. Незамінні амінокислоти з розгалуженим ланцюгом, джерелом яких є даний білок, забезпечують зберігання м'язів та глікогену під час фізичних навантажень. Поряд з цим, він має високу здатність до гелеутворення залежно від концентрації білка, температури нагрівання, рН, наявності інших білків, мінеральних речовин. Здатність β -Lg утворювати гелі з іонами металів, такими як залізо, може мати важливі харчові наслідки. Пептиди сироватки, які походять з β -лактоглобуліну, мають сильну антигіпертензивну дію. Експериментальні дослідження показали, що основна фракція сироваткового білка запобігає опосередкованій остеокластами резорбції кісток. Будучи кількісно основним білком сироватки, він не міститься у жіночому молоці і є алергеном для дітей грудного віку, а також може викликати алергічні реакції у дорослих осіб.

α -Лактоальбумін регулює синтез лактози, його вміст є пропорційним до концентрації лактози в молоці. Є джерелом незамінної амінокислоти триптофану, яка допомагає регулювати процеси сну, настрій та стрес в осіб. Проявляє себе як ефективний агент доставки лікувальних речовин, а також як адсорбент клітинної глюкози для запобігання діабету II типу. Були проведені дослідження, які вказують на апопатичну активність білка проти ракових клітин, у випадку його стабілізації взаємодією з олеїною кислотою він стає смертельним для ракових клітин. Саме α -Лактоальбумін є первинним білком жіночого молока і складає близько 40% сироваткових білків у ньому.

Сироватковий альбумін у молоці фізично та імунологічно ідентичний сироватковому альбуміну крові, який є основним білком крові. Є багатфункціональним білком, що чудово зв'язує ліганди, жирні кислоти, смакові сполуки та іони металів. Має потенціал у пригніченні ракових клітин молочної залози людини, якщо його включати в культуру клітин *in vitro* з

пухлинними клітинами. Пептиди, що утворюються в результаті гідролізу білка, можуть мати корисну біологічну активність.

Імуноглобуліни є важливим компонентом захисту організму від хвороботворних бактерій та вірусів, токсинів і відіграють важливу роль в імунній системі. Кілька досліджень показали, що імуноглобуліни молока ефективні проти ротавірусів та інших інфекцій. Надходження білків цієї групи знижує ризик шлунково-кишкових розладів, включаючи діарею мандрівників. Є корисним для споживання з метою зміцнення імунитету для усіх вікових груп – від немовлят до осіб похилого віку.

Лактоферин так само, як і α -Лактоальбумін складає одну з переважаючих фракцій жіночого молока. Сприяє зростанню корисних бактерій, покращує імуномодуючу активність завдяки протимікробній та антиокисновій активності проти широкого спектру бактерій і дріжджів. Він також забезпечує захист від гепатиту, грипу та цитомегаловірусу. Дослідження свідчать про те, що лактоферин, введений парентеральним шляхом, може мати важливі протипухлинні властивості. Білок може локально зв'язувати залізо в тканинах, впливає на ріст і диференціацію клітин, ембріональний розвиток, мієлопоз, адгезію ендотеліальних клітин, утворення цитокинів і хемокинів.

Лактопероксидаза є захисним фактором проти інфекційних мікробів, пригнічує ріст бактерій. Протеозопептонова фракція може використовуватись як біфідогенний фактор, має імунно-стимулюючі властивості та пробактеріальну дію.

Надходження сироваткових білків в організм забезпечує надходження значної кількості *амінокислот*, зокрема незамінних, як вже згадувалось раніше. Переважаючими фракціями є лейцин (9,5%), лізин (8,8%), треонін (6,9%), ізолейцин (6,0%) та валін (6,0%). Амінокислоти з розгалуженим ланцюгом - особливо лейцин, відіграють важливу роль у регулюванні метаболізму та глюкози, стимулюючи м'язову тканину за допомогою щоденної програми вправ, що також сприяє втраті жиру. Лейцин бере участь в обміні білків і вуглеводів, знижує вміст цукрів у крові. У спільній дії з валіном,

він забезпечує захист м'язових тканин та сприяє відновленню кісткової тканини, шкіри. Лізин нормалізує кровообіг, підтримує необхідний рівень гемоглобіну, сприяє засвоєнню кальцію, бере участь у синтезі антитіл, гормонів, ферментів, має противірусну активність. Треонін підтримує процеси білкового обміну, сприяє обміну жирів, колагену, еластину. Поярд з цим є імуностимулятором, інтенсифікує процеси синтезу антитіл, імунних білків, травних ферментів, гліцерину. Ізолейцин сприяє збільшенню фізичної та психічної витривалості людини, сприяє перебігу біохімічних процесів щодо синтезу енергії, стабілізує рівень цукру та інсуліну, має визначальну роль у виробництві гемоглобіну. Окрім згаданої функції захисту м'язової тканини, валін бере участь в процесах росту і синтезу тканин, забезпечує захист мієлінової оболонки нервових закінчень, регулює нервові процеси, синтезує та забезпечує накопичення глікогену. Триптофан приймає участь в процесі відновлення тканин. Метіонін попереджає ожиріння нирок, ураження легенів, сприяє утворенню інсуліну.

Доцільно зазначити також надходження з сироватковими білками амінокислоти цистеїну, яка бере участь у внутрішньоклітинному виробництві глутатіону. Глутатіон є біологічно активним трипептидом, який забезпечує підтримку імунної системи організму. Загалом, сироватка багата на вміст пептидами антиоксидантами, які мають радіозахисні властивості та забезпечують захист шкіри людського організму.

Якщо розглядати сироваткові білки в комплексі без фракційного поділу, тоді можна охарактеризувати загальний вплив на системи людського організму за наступним переліком основних ефектів:

- Протизапальний та антиоксидантний;
- Імуномодуляція та підтримка імунної системи;
- Нормалізація серцево-судинної системи;
- Підтримка нервової системи;
- Підтримка травної системи;
- Протидіабетична дія;
- Захист, відновлення та стимуляція м'язової та кісткової

тканин;

- Лікування фенілкетонурії;
- Остеопротекція;
- Дерматопротекторний;
- Пригнічення процесів ожиріння;
- Пригнічення ракових клітин.

Цей перелік не є обмеженим, адже існує набагато ширший перелік опосередкованих ефектів, які сукупно із безпосередніми формують фізіологічну цінність сироваткових білків. Однак, питання шляхів її реалізації є дискутованим, адже ефекти окремих білкових фракцій можуть бути більш цінними у певних випадках у порівнянні з ефектами комплексу сироваткових білків.

З огляду на те, що жіноче молоко не містить β -Лактоглобуліну, молочна промисловість не може виробляти продукти, збагачені α -Лактоальбуміном, з коров'ячого молока для включення у дитяче харчування. Присутність β -Лактоглобуліну в дитячих молочних продуктах призведе до алергічних реакцій та порушення нормального харчування, а як наслідок розвитку немовлят. Водночас, фракційний склад сироваткових білків є ідентичним до жіночого молока, що характеризується високим вмістом лактоферину та α -Лактоальбуміну, який є другою за розміром фракцією. Однак, найбільшу частку від усіх білків у сироватці має алерген β -Лактоглобулін. Це виявляє потребу у фракційному вилученні білків, зокрема для отримання комплексів без присутності β -Лактоглобуліну, комплексів збагачених α -Лактоальбуміном, або ж взагалі для отримання окремих цільових білкових фракцій.

У свою чергу глікомакропептид, що входить до складу протеозо-пептонової фракції, характеризується відсутністю залишків фенілаланіну, триптофану, тирозину, гістидину, аргініну або цистеїну. Відсутність фенілаланіну робить цей білок цінним харчовим інгредієнтом для пацієнтів, які страждають на фенілкетонурію. Фенілкетонурія є генетичним захворюванням, і близько 15 тисяч людей у Сполучених Штатах страждають від цього дефекту. Таким чином, цільове вилучення глікомакропептиду дозволяє створювати умови для забезпечення харчового профілю таких пацієнтів.

Отже, фракційне вилучення певних сироваткових білків дозволить забезпечувати виробництво дитячих продуктів харчування із заданим білковим вмістом, а також виробництво спеціалізованих харчових добавок лікарського та спортивного характеру. Цього можна досягти різними способами, включаючи хроматографію, мембранну фільтрацію, агрегацію/осадження, гідроліз ферментів, що буде розкрито нижче.

Таким чином, фізіологічна цінність сироваткових білків характеризується широким переліком позитивних ефектів для більшості систем людського організму та противірусною дією, що може реалізовуватись як комплексно так і окремими фракціями, що потребує подальших досліджень.

Розкриваючи фізіологічну цінність *жирів сироватки*, варто зазначити, що вона є обмеженою враховуючи критично низький вміст полінасичених жирних кислот у сироватці, зокрема лінолевої та ліноленової, які беруть активну участь у обмінних процесах, виводять з організму надлишок холестерину, нормалізують функцію печінки, профілактично діють проти склерозу, тощо. Однак, при потраплянні молочного жиру з сироваткою в жирових оболонках містяться фосфоліпіди, які є основним компонентом біомембран клітинних структур та відіграють істотну роль в проникності клітинних оболонок і внутрішньоклітинному обміні. Найбільш важливими серед них є лецитин, сфінгомієлін та кефаліни.

Лецитин бере участь в утворенні мембран клітин, особливо в нервових волокнах та головному мозку. Сфінгомієлін грає важливу структурну та функціональну роль у клітині. Він є компонентом плазматичної мембрани та бере участь у багатьох сигнальних шляхах. Метаболізм сфінгомієліну створює безліч продуктів, які відіграють важливу роль у клітині. Відіграє важливу роль у сигнальних шляхах: деградація та синтез сфінгомієліну виробляють важливі вторинні месенджери для передачі сигналу. Кефаліни підтримують нервову систему та містять іонізовані (при нейтральних значеннях pH) залишки кислоти та аміну, що надає полярного характеру та значною мірою визначає їх і функціональні властивості.

У випадках, коли сироватка піддається сепаруванню вміст жирів мінімізується і практично дорівнює нулю. З врахуванням останнього фактору, а також охарактеризованого впливу сироваткових жирів на системи організму людини, можна зробити висновок про їх обмежену фізіологічну цінність.

Фізіологічна цінність *вуглеводів сироватки* перш за все пов'язана з впливом лактози на організм. Лактоза забезпечує позитивний вплив на процеси зміцнення імунітету людини, має профілактичну дію на серцево-судинні захворювання, покращує та стимулює стан роботи нервової системи, застосовується для боротьби з безсонням, як інтенсифікатор набору ваги, нормалізує роботу кишково-шлункового тракту, зокрема сприяє розвитку лактобактерій, які запобігають виникненню гнильних процесів у кишківнику, нормалізує обмін кальцію і допомагає кишечнику засвоювати вітаміни В і С.

Таким чином, фізіологічна цінність вуглеводів сироватки полягає у їх позитивному впливі та підтримці серцево-судинної, травної, імунної та нервової систем організму.

Вагомою складовою фізіологічної цінності сироватки є саме вплив *вітамінів* на організм людини, які входять до її складу. Почергово розглянемо ефекти від жиророзчинних та водорозчинних вітамінів.

В блоці жиророзчинних розглянемо вітаміни А, Е та бета-каротин. Вітамін А (ретинол) називають найважливішим жиророзчинним мікронутрієнтом. Він бере участь у ембріональному розвитку, процесі росту клітин, відновленні тканин шкіри та оболонки кишечника, підтримує функції зору та імунну систему. Є антиоксидантом та бере участь у виведенні вільних радикалів. Бета-каротин є провітаміном та може перетворюватися на вітамін А. Споживання більше 30 мг бета-каротину може надати шкірі ефект засмаги. Це є результатом накопичення бета-каротину в підшкірній клітковині, в основному в долонях та стопах. Вітамін Е є антиоксидантом, бере участь у біосинтезі гема і білків, бере участь у процесах клітинного метаболізму. Він покращує споживання тканинами кисню, стимулює процеси кровоносної системи, забезпечує

імуномодулюючий ефект. Підтримує репродуктивні процеси та статеву систему.

В блоці водорозчинних розглянемо вітаміни B₁, B₂, B₅, B₆, B₉, B₄, PP. Вітамін B₁ нормалізує обмін речовин і перетворює поживні речовини в енергію. Вітамін B₂ перетворює продукти харчування в енергію та знижує негативний вплив окисного стресу. Вітамін B₅ бере участь у виробленні гормонів, метаболізмі та виробництві холестерину. Вітамін B₆ використовується організмом для вироблення еритроцитів і нейротрансмітерів. Вітамін B₉ бере участь в процесах росту клітин, перетворення червоних і білих кров'яних тілець, нормалізації клітинного поділу, знижує негативний вплив окисного стресу. Вітамін B₄ бере активну участь в розщепленні жирів, підтримці стану і функціонування репродуктивної системи. Він активізує регенерацію м'яких тканин, особливо тканин печінки, завдяки чому запобігається процес каменеутворення в жовчних протоках і міхурі. Має профілактичну дію до захворювань серцево-судинної системи. Є регулятором рівню холестерину в крові. Вітамін PP бере участь у забезпеченні реакцій вуглеводного, білкового, ліпідного, водно-мінерального обміну, функціонуванні нервової й серцево-судинної системи. Підтримує діяльність шлунково-кишкового тракту, печінки, нирок та головного мозку. Переважаючими є вітаміни групи B, вживання яких забезпечує зниження рівня розумової втоми і стресу, зниження рівня тривоги і запобігає розвитку депресії.

Таким чином, фізіологічна цінність вітамінів сироватки забезпечується їх участю в процесах звичайного та клітинного метаболізму, підтримці імунної, статевої, серцево-судинної та нервової систем організму, з переважаючим вмістом вітамінів групи B.

Фізіологічну цінність *мінеральних речовин сироватки* характеризує вплив переважаючих макроелементів кальцію, калію, фосфору та натрію на системи організму.

Кальцій впливає на міцність кісток і зубів, тонус м'язів, роботу кровоносних судин та активність нервової системи. Підтримка даного макроелементу в збалансованому стані в

організмі знижує ризик переломів, остеопорозу, діабету й авітамінозу. Кальцій відіграє ключову роль у процесах скорочення м'язів, активації яйцеклітин, розбудови міцних кісток і зубів, згортання крові, роботи нервової системи, регулювання серцевого ритму та рівноваги рідини всередині клітин. Калій регулює функціонування м'язових волокон, кровоносних судин і серцевого м'яза, стабілізує переробку цукру в енергію, нормалізує рівень електролітів в крові і стимулює роботу нервової системи. Особлива функція калію - це залуження крові та регулювання рівня магнію в сироватці крові. Він нормалізує провідність нервових волокон, сприяючи усуненню депресивних розладів, і стабілізує роботу мозку, підвищуючи доступ кисню до цього органу. Забезпечує стабільне функціонування серцево-судинної системи. Фосфор бере участь у процесах розподілу клітин, синтезу енергії, обміну речовин, стабілізує роботу центральної нервової системи, забезпечує баланс фосфору і кальцію, тощо. Натрій бере участь у підтримці нормального клітинного гомеостазу, у регуляції рідинного та електролітного балансу та артеріального тиску. Має вагомий вплив на підтримку обсягу екстрацелюлярної рідини, завдяки його осмотичній дії. Бере участь в процесах збудження м'язових та нервових клітин та транспортування поживних речовин через мембрани плазми.

Підтримка здебільшого опорно-рухової, серцево-судинної та нервової систем організму під впливом макроелементів сироватки, характеризує фізіологічну цінність її мінеральних речовин.

Таким чином, фізіологічна цінність сироватки обумовлена широким спектром позитивних ефектів для систем людського організму та протидією інфекційним захворюванням завдяки її біологічно цінним компонентам. Зокрема, сироваткові білки та амінокислоти, що входять до їх складу підтримують переважну більшість систем організму та мають високу противірусну дію, що може реалізовуватись як комплексно так і окремими фракціями, що потребує подальших досліджень. Сироваткові жири мають обмежену фізіологічну цінність через певний вплив фосфоліпідів та критично низький вміст

полінасичених жирних кислот, а також враховуючи фактор мінімізації вмісту жирів за сепарування сироватки. Вуглеводи позитивно впливають та підтримують серцево-судинну, травну, імунну та нервову системи організму. Вітаміни сироватки беруть участь в процесах звичайного та клітинного метаболізму, підтримці імунної, статевої, серцево-судинної та нервової систем організму, з переважаючим вмістом вітамінів групи В. Мінеральні речовини здебільшого підтримують функціонування опорно-рухової, серцево-судинної та нервової систем організму під впливом макроелементів сироватки. Отже, фізіологічна цінність сироватки може бути охарактеризована як значана та комплексна.

Фізіологічну активність сироватки охарактеризуємо вмістом бактерій та продуктів їх життєдіяльності, а також ефектами, якими вони володіють.

Молочна сироватка є хорошим середовищем для розвитку різних мікроорганізмів, тому в процесі збирання та зберігання її склад та властивості можуть змінюватися, а якісні показники – погіршитися. Цьому сприяють значне обсіменіння молочної сироватки молочнокислими бактеріями у процесі виробництва та обсіменіння різною сторонньою мікрофлорою у процесі збирання, зберігання та подальшої обробки. При цьому, лактоза піддається ферментативному гідролізу, внаслідок чого підвищується титрована кислотність, знижується рН, з'являється мутність, відбувається гідроліз білків, жиру, змінюється смак і запах, нагромаджуються небажані компоненти. При зберіганні без оброблення сироватки протягом 12 годин втрачається 25% енергетичної цінності сироватки.

У молочної сироватці багато молочно-кислих бактерій, які використовуються при гемоферментативному та гетероферментативному бродінні. У виробництві твердих сирів: *Str. thermophilus*, *L. Helveticus*, *L. Casei*, *L. Lactis*, *Propionibacterium Shermanii*; у виробництві м'яких сирів: *Streptococcus lactis*, палички роду *Lactobacillus* *Leuconostoc*, які є факультативними анаеробами, *Bacterium linens*, *Penicillium candidum*, *P. Album*, *P. Proqueforti*, *P. Camamberti*, *B. Casei*, *Geotrichum candidum*, тощо. Окрім перерахованих груп

мікроорганізмів, сироватка містить багато представників вторинного обсіменіння, що виникає під час технологічного процесу. До їх складу входять молочнокислі та оцтовікислі бактерії, кишкові палички, плісняві гриби, дріжджі та спорові мікроорганізми.

Молочнокислі бактерії сироватки мають науково обґрунтовані антогоністичні властивості у боротьбі з гнильною мікрофлорою травного тракту. Бактерії *Lactobacillus* використовуються у виробництві пробіотиків як засобів профілактики дисбактеріозу кишечника та інших порушень мікрофлори кишечника. У травному тракті дані бактерії пригнічують патогенів за рахунок виділення молочної та оцтової кислот. Такий антагонізм молочнокислих бактерій забезпечується також за рахунок синтезу специфічних антибіотиків, таких як нізім, диплококцин, ацидофілін, лактоцидин, тощо. Важливою є також і адгезивність молочнокислих бактерій – їх здатність приживлятися на оболонках різних порожнин організму. Молочнокислі бактерії беруть участь у функціонуванні імунної системи організму, стимулюють протипухлинну активність. Також їх надходження в організм забезпечує зменшення токсичного впливу на організм хіміотерапії при лікуванні пухлинної хвороби. Впливають на зниження рівня холестерину у сироватці крові тощо.

Високий вміст молочнокислих бактерій у сироватці дозволяє стверджувати, що вона є фізіологічно активною, а також, що наявність пробіотичних бактерій забезпечує здатність сироватки до аутолізу в шлунку людини та покращення процесів травлення та обміну речовин, що з точки зору теорії адекватного харчування А.М. Уголева свідчить про її високу цінність.

REFERENCES

1. Яцков М. В., Корчик Н. М., Пророк О. А. Основні технологічні схеми базових неорганічних виробництв : навч. посіб. Рівне : НУБГП, 2020. 212 с. URL: <http://ep3.nuwm.edu.ua/id/eprint/18442>
2. Яцков М. В., Корчик Н. М., Мисіна О. І. Виробничі процеси та обладнання об'єктів автоматизації : навч. посіб. Рівне : НУБГП, 2014. 389 с. URL: <http://ep3.nuwm.edu.ua/id/eprint/1953>
3. Besediuk V., Yatskov M., Korchyk N., Kucheroва A., Maletskyi Z. Whey – From Waste to a Valuable Resource. *Journal of Agriculture and Food Research*. Volume 18, December 2024, 101280. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2024.101280>