



ISSN 1560-5655

Ұ Л Т Т Ы Қ
М Е М Л Е К Е Т Т І К
Ғ Ы Л Ы М И - Т Е Х Н И К А Л Ы Қ
С А Р А П Т А М А О Р Т А Л Ы Ғ Ы

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР
ГОСУДАРСТВЕННОЙ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ
Э К С П Е Р Т И З Ы



ҚАЗАҚСТАН ҒЫЛЫМЫНЫҢ ЖАҢАЛЫҚТАРЫ

ҒЫЛЫМИ-ТЕХНИКАЛЫҚ ЖУРНАЛ

НОВОСТИ НАУКИ КАЗАХСТАНА

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

2
2025

Ұлттық мемлекеттік ғылыми-техникалық
сараптама орталығы

Национальный центр государственной
научно-технической экспертизы

**ҚАЗАҚСТАН ҒЫЛЫМЫНЫҢ
ЖАҢАЛЫҚТАРЫ**
ҒЫЛЫМИ-ТЕХНИКАЛЫҚ ЖУРНАЛ

**НОВОСТИ НАУКИ
КАЗАХСТАНА**
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ
№ 2 (165)

Алматы 2025

Межотраслевой научно-технический журнал «Новости науки Казахстана» (ISSN:1560-5655) издаётся с 1989 г. и выходит 4 раза в год. В журнале публикуются научные статьи фундаментального и прикладного характера, обзорные работы отечественных и зарубежных авторов. Язык публикаций: казахский, русский, английский.

Область публикаций: Биотехнологии и Химические технологии; Пищевая и перерабатывающая промышленность; Естественные науки, инжиниринг и технологии; Социально-гуманитарные науки.

Предназначен для профессорского-преподавательского состава Вузов, докторов PhD, магистрантов, студентов и сотрудников научно-исследовательских институтов, предприятий и организаций, а также работников министерств и ведомств.

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

Болегенова С.А., доктор физико-математических наук, профессор
(главный редактор)

Гребцова Л.Н. (редактор)

Сухова Е.С. (ответственный секретарь)

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Велямов М.Т., доктор биологических наук, профессор, академик Академии сельскохозяйственных наук РК,

Акимбеков Н.Ш., PhD, профессор;

Тастамбек Қ.Т., доктор PhD;

Тасибеков Х.С., кандидат химических наук, асс. профессор;

Ханиев Б.А., доктор PhD;

Кистаубаева А.С., кандидат биологических наук, асс. профессор;

Акимбекова Г.У., доктор экономических наук, профессор, академик НААН;

Тауанов Ж.Т., доктор PhD, асс. профессор;

Абдиева Г.Ж., кандидат биологических наук, асс.профессор (доцент);

Тайпақова С.М., доктор философии (PhD), асс.профессор (доцент);

Джурупова Б.К., кандидат технических наук, профессор, (Кыргызстан);

Руткуниене Ж., доктор PhD, профессор, (Литва);

Славинская Н., доктор PhD, профессор (Германия);

Дигель И.Э., доктор PhD, профессор (Германия);

Jian Zha, доктор PhD, профессор (Китай);

Рахматуллаев М.А., доктор технических наук, профессор, (Узбекистан).

Республика Казахстан, 050026, г. Алматы,

ул. Богенбай батыра, 221

Тел/факс: +8 727 222-1102 (вн. 141), +7 727 378-0549

e-mail: l.grebtsova@ncste.kz, y.sukhova@ncste.kz

Веб-сайт: vestnik.nauka.kz

СОДЕРЖАНИЕ

БИОТЕХНОЛОГИИ И ХИМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

<i>Жубанова А.А., Нусипов Д.А., Каменов Б.К., Кожаметова М.Х., Аймагамбетов А., Арыстанбекулы Б., Сиангронг Л.</i>	
Разработка химических и биохимических решений для сокращения углеродного следа и восстановления экосистем через переработку отходов (на английском языке & перевод)	9

<i>Джумадилов Т.К., Тасибеков Х.С., Химэрсэн Х., Кабидолла Д.А., Жакслыкова Д.Р.</i>	
Влияние эффекта дальнего действия промышленных ионитов на сорбционную активность интерполимерной системы «КУ-2-8@АВ-17-8» (Х:У) в отношении ионов скандия и иттрия	39

ПИЩЕВАЯ И ПЕРЕРАБАТЫВАЮЩАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

<i>Болат Ж.М., Ахметсадыкова Ш.Н.</i>	
Важность процесса ферментации верблюжьего молока и его влияние на организм человека (на казахском языке)	57

<i>Икрамова М.Л., Рахматов Б.Н., Махсудов С.И., Гаффаров И.Ч.</i>	
Значение производства экологически чистых потребительских масел, белковой муки и безгоссиполовых сортов хлопка с натуральным цветным волокном (на английском языке & перевод)	68

ЕСТЕСТВЕННЫЕ НАУКИ, ИНЖИНИРИНГ И ТЕХНОЛОГИИ

Серик З., Асембаева М.К.

Характеристика массообмена в тройной газовой смеси с определенным компонентом, зависящим от давления (на английском языке & перевод).....87

*Мукамеденкызы В., Толепберген А.Г., Акбердиев Б.Е.,
Альтенбах Х.*

Анализ конвективных потоков при изотермическом перемешивании трехкомпонентных газовых смесей методом компьютерного моделирования (на английском языке).....104

СОЦИАЛЬНО-ГУМАНИТАРНЫЕ НАУКИ

Мамекова С.К., Конфикони Д.

Преподавание английского языка в инклюзивном образовании119

ШАБЛОН НАПИСАНИЯ СТАТЬИ130

МАЗМҰНЫ

БИОТЕХНОЛОГИЯЛАР ЖӘНЕ ХИМИЯЛЫҚ ТЕХНОЛОГИЯЛАР

*Жұбанова А.А., Нусипов Д.А., Каменов Б.К.,
Кожаметова М.Х., Аймағамбетов А., Арыстанбекұлы Б.,
Сиангронг Л.*

Көміртек іздерін азайту және қалдықтарды қайта өңдеу
арқылы экожүйені қалпына келтіру үшін химиялық және
биохимиялық шешімдерді әзірлеу (ағылшын тілінде &
аударма)9

*Джумадилов Т.К., Тасибеков Х.С., Химэрсэн Х.,
Қабидолла Д.А., Жакслыкова Д.Р.*

Скандий мен иттрий иондарына қатысты
«КУ-2-8@AB-17-8» (X:Y) интерполимерлік жүйесінің
сорбциялық белсенділігіне өнеркәсіптік иониттердің
қашықтықтан әрекеттесу эффектісінің әсері
(орыс тілінде)39

ТАМАҚ ЖӘНЕ ӨНДЕУ ӨНЕРКӘСІБІ

Болат Ж.М., Ахметсадыкова Ш.Н.

Түйе сүтін ашыту процесінің маңыздылығы мен оның
адам ағзасына тигізетін әсері57

*Икрамова М.Л., Рахматов Б.Н., Мақсудов С.И.,
Ғаффаров И.Ч.*

Экологиялық таза тұтынушы майы, протенді, табиғи түсі
бар мақта сұрттарын өндірудің маңыздығы (ағылшын
тілінде & аударма)68

ЖАРАТЫЛЫСТАНУ ҒЫЛЫМДАРЫ, ИНЖИНИРИНГ ЖӘНЕ ТЕХНОЛОГИЯЛАР

Серік З., Асембаева М.К.

Қысымға байланысты құрамында нақты компоненті
бар үштік газ қоспасындағы масса тасымалының
сипаттамасы (ағылшын тілінде)87

*Мукамеденкызы В., Төлепберген А.Ф., Ақбердиев Б.Е.,
Альтенбах Х.*

Үш компонентті газ қоспаларын изотермиялық
араластыру кезіндегі конвективті ағындарды
компьютерлік модельдеу әдісімен талдау (ағылшын
тілінде)104

ӘЛЕУМЕТТІК-ГУМАНИТАРЛЫҚ ҒЫЛЫМДАР

Мамекова С.К., Конфикони Д.

Инклюзивті білім беруде ағылшын тілін оқыту 119

МАҚАЛА ЖАЗУ ҮЛГІСІ130

CONTENT

BIOTECHNOLOGY AND CHEMICAL TECHNOLOGY

*Zhubanova A.A., Nussipov D.A., Kamenov B.K.,
Kozhakhmetova M.H., Aimagambetov A., Arystanbekuly B,
Xiangrong L.*

Developing chemical and biochemical solutions to reduce carbon footprints and restore ecosystems through waste recycling (translation into Russian).....9

*Dzhumadilov T.K., Tasibekov Kh.S., Khimersen Kh.,
Kabidolla D.A., Zhaksylykova D.R.*

The impact of the long-range effect of industrial ionites on the sorption activity of the «KU-2-8@AB-17-8» interpolymer system (X:Y) concerning scandium and yttrium ions (in Russian)39

FOOD AND PROCESSING INDUSTRY

Bolat Zh.M., Akhmetsadykova Sh.N.

The importance of the fermentation process of camel milk and its impact on the human body (in Kazakh)57

*Ikramova M.L., Rakhmatov B.N., Maxsudov S.I.,
Gaffarov I.Ch.*

The importance of producing ecologically clean consumer oils, protein flour and gossypol-free cotton varieties with natural coloured fibre (translation into Russian).....68

NATURAL SCIENCES, ENGINEERING AND TECHNOLOGY

Serik Z., Asembayeva M.K.

Characterization of mass transfer in a ternary gas mixture
with a specific component dependent on pressure
(translation into Kazakh).....87

*Mukamedenkyzy V., Tolepbergen A.G., Akberdiev B.,
Altenbakh H.*

Analysis of convective flows during isothermal mixing of
three-component gas mixtures by computer
simulation104

SOCIAL AND HUMANITARIAN

Mamekova S., Conficoni D.

Teaching English in inclusive education119

ARTICLE WRITING TEMPLATE130

БИОТЕХНОЛОГИИ И ХИМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

IRSTI 34.35.51

https://doi.org/10.53939/1560-5655_2025_2_9

**Zhubanova A.A.¹, Nussipov D.A.¹, Kamenov B.K.¹, Kozhakhmetova M.H.¹,
Aimagambetov A.T.¹, Arystanbekuly B¹, Xiangrong L.²**

¹SRI «Ecology and Sustainability of Bioresources», Kazakh National University named after Al-Farabi, Almaty c., Kazakhstan

²College of Chemistry and Chemical Engineering, Xi'an University of Science and Technology, Xi'an c., China

DEVELOPING CHEMICAL AND BIOCHEMICAL SOLUTIONS TO REDUCE CARBON FOOTPRINTS AND RESTORE ECOSYSTEMS THROUGH WASTE RECYCLING

Abstract. The article provides an overview of modern approaches to the processing of agricultural and man-made waste aimed at reducing the carbon footprint and restoring ecosystems. The main focus is on chemical and biochemical solutions, such as the production of biochar, biogas and optimization of pyrolysis processes. Special emphasis is placed on the use of biochar for the adsorption treatment of industrial wastewater, which helps to reduce pollution and rational use of resources. The prospects of increasing the share of renewable energy in the energy balance of Kazakhstan and reducing dependence on fossil fuels are considered. The expected research results include the development of certified products, the patenting of innovative technologies and their implementation in production processes. The importance of training highly qualified specialists and publishing scientific articles is also emphasized, which contributes to scientific and technical development. The article demonstrates the contribution to the promotion of environmentally sustainable technologies that meet the global challenges of climate change.

Keywords: microorganisms, sorption, pyrolysis, bioconversion, briquette, biofuels.

Introduction. The program aims to develop innovative waste recycling technologies to reduce the carbon footprint and restore ecosystems. Sustainable waste management is becoming especially relevant in the context of climate change and the growing environmental crisis. The main focus is on the processing of industrial and agricultural waste into useful products, including biofuels, energy and materials, which helps reduce dependence on fossil sources and supports the “green economy”.

The program addresses the challenges of developing promising methods of pyrolysis, using biochemical processes to obtain energy and clean polluted ecosystems. These technologies are capable of not only improving the environmental situation, but also becoming the basis for the international implementation of sustainable solutions.

The partnership between scientific and industrial organizations enhances the program's potential, ensuring its integration into the national economy. Joint research and development of applied technologies will help achieve environmental and energy goals, minimizing the impact on the environment and creating a basis for scaling innovative solutions globally.

Research methods and results. The ever-increasing use of traditional energy sources and the resulting increase in environmental pollution challenge humanity to find alternative energy sources. In addition, the world population is growing at an alarming rate; according to UN forecasts, by 2050 the planet's population will reach approximately ten billion people. This will inevitably lead to a significant increase in energy demand, by approximately 24 billion tons of coal equivalent annually [1]. Given the growth of environmental problems and energy prices, the development and implementation of alternative energy sources are becoming a critical area in the energy sector of the future. Particular attention is paid to the production of biofuels, including ethanol, biodiesel and biogas, from renewable energy sources [2]. The International Energy Agency (IEA) notes that more than 80% of the world's primary energy supplies come from fossil fuels, the main source of anthropogenic carbon dioxide emissions, which are the main factor in global warming [3]. Therefore, reducing global CO₂ emissions by at least 50% compared to 2000 levels by 2050, as indicated by the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), is a prerequisite for a sustainable future [4]. The electricity sector, which produces about 42% of all CO₂ emissions, is actively researching technological solutions that can reduce emissions [5].

Just like the inevitable problems in the energy sector, plastic pollution, which is characterized by its widespread distribution and long decomposition time, poses a serious threat to environmental sustainability and human health. Plastic, which has such valuable properties as lightness, strength, good rigidity, versatility in manufacture, good thermal insulation, low electrical/thermal conductivity and corrosion resistance [6,7], is widely used in various sectors. However, its impact on the environment is catastrophic. It is estimated that about 4% of the world's oil

and gas production goes to the production of plastic, which also increases the volume of harmful emissions [7]. The annual global production of plastic exceeds 359 million tons, and although it offers many benefits, it also creates serious environmental problems. Microplastic particles spread in the atmosphere, water bodies and soil, causing negative effects on human and animal health, such as cardiovascular diseases, chronic kidney diseases, and other diseases [6,7].

The problems of agricultural and industrial waste disposal are acute not only for Kazakhstan, but also for many other countries. Throughout the world, the accumulation of agricultural and industrial waste causes serious environmental problems, including water, soil and air pollution, as well as a threat to biodiversity. In the agricultural sector, huge volumes of agricultural waste, such as corn stalks, wheat straw and other plant residues, are often burned or buried, which leads to the release of methane and carbon dioxide into the atmosphere. These gases are significant factors in global warming.

Industrial waste, including coal dust and metallurgical slag, also poses a significant problem. Without proper processing, these materials can have a toxic effect on the environment, polluting land and water resources with heavy metals and other harmful substances. Therefore, finding effective methods for the disposal of such waste is becoming a priority in sustainable development strategies. The development and implementation of technologies that can transform agricultural and industrial waste into useful resources, such as biofuels, building materials or even renewable energy sources, is a key element in reducing the environmental burden and maintaining the ecological balance.

The program stands out for its innovative approach to processing agricultural and industrial waste, transforming it into useful products: biofuel, building materials and energy. These technologies significantly reduce waste volumes and carbon footprint, supporting environmentally friendly and sustainable solutions. Particular attention is paid to the development of cost-effective technologies that meet global goals of combating climate change and transition to a "green economy". The program is important not only for local environmental issues, but also for achieving energy independence and sustainable development at the international level. To solve environmental problems, the development of an effective technology for producing biogas from agricultural waste is a key area. This process allows not only to reduce the volume of agricultural waste, but also to turn it into a valuable source of renewable energy, thereby contributing

to sustainable development and reducing carbon emissions. Among the promising sources of bioenergy, agricultural lignocellulosic biomass is the main source of various organic bioproducts (organic acids, food additives, enzymes, etc.), and it is also a good biofuel due to its biochemical composition consisting of sugars and other valuable components. The transformation of agricultural waste, namely wheat straw, corn stalks, rice straw, sugar beet cake, etc. into biogas can serve as a promising substitute for solving the bulk of energy problems. Lignocellulosic biomass is an inexhaustible and abundant renewable resource that is constantly replenished through photosynthesis. It includes a significant portion of agricultural crop waste, energy crops, animal manure, municipal solid waste (MSW), and forest residues [8]. These cost-effective renewable energy sources are available in large quantities. In turn, their excessive accumulation can lead to environmental problems, and if they are not used and improperly disposed of, this will lead to a significant loss of valuable bioresources. The above determines the interest in the processes of conversion and use of agricultural lignocellulosic biomass for energy/electricity production through direct and indirect conversion pathways. The total energy consumption worldwide per year is a quarter of the rate of cellulose synthesis by plants and algae (8.5×10^{10} t/annual equivalent) [9]. Direct combustion for heat and electricity production is a classic way of using biomass for energy [10]. However, the process of anaerobic digestion or biomethanization is an effective way to convert huge biomass such as animal manure, lignocellulosic agricultural residues, forestry waste, municipal and food waste, etc., into biogas under the influence of various groups of microbial populations under anaerobic conditions [11].

However, anaerobic digestion of various organic biomasses is a relatively sensitive process, which mainly depends on the substrate compounds that can be converted into biogas: the chemical composition and biodegradability of biomass are key factors for biogas production. Many studies have focused on the anaerobic digestion process using monosubstrates. However, in recent years, research has been actively carried out on biogas production through anaerobic co-digestion (ACD) of agricultural waste and manure. For example, Cavinato et al. conducted co-digestion of cattle manure, agro-waste and energy crops [12]; Kacprzak et al. analyzed the co-digestion of agricultural waste and MSW [13]. Callaghan et al. optimized the co-digestion process by using three types of feedstock: cattle manure, chicken manure and fruit and vegetable waste [14]. Muradin and Foltynowicz conducted an economic analysis of

a biogas plant that processed nine types of feedstock (i.e., corn silage, potato pulp, wine waste, fruit and vegetable pomace, cereals, plant tissue waste, municipal sludge, and soybean oil) [15]. ABD is an economically viable process and can provide effective synergies in the reactor. The sharp increase in the number of publications on ABD in recent decades indicates that the anaerobic digestion process is receiving increasing attention and increasing biogas production is one of the most pressing research topics.

An important area of research is also the use of phototrophic microorganisms, such as microalgae, which can be used to capture carbon dioxide and produce biofuels. These microorganisms are capable of absorbing significant amounts of CO₂, making them a valuable tool in the fight against global warming. They can also be used to purify wastewater, removing toxic substances and nutrients, preventing eutrophication of water bodies and promoting the production of environmentally friendly energy [16]. The research group has sufficient experience in the field of biotechnology of phototrophic microorganisms, including in the field of research into their potential to purify aquatic ecosystems polluted with various toxicants, and the scientific group is also conducting research to find and isolate microalgae strains that are promising producers or raw materials for the production of environmentally friendly types of biofuels. The team has a large reserve in the field of microalgae research, their morphological and physiological-biochemical features and has extensive experience in cultivating microalgae, obtaining various biologically active substances and dietary supplements on their basis. The research group has received patents and published articles in highly rated international journals and textbooks, which confirms the existing sufficient experience for the implementation of the proposed program. Also, the biotechnology laboratory has a collection of phototrophic microorganisms, including more than 50 pure strains of microalgae and cyanobacteria, 20 strains of which were obtained and deposited in the RCM.

In substantiating the scientific novelty and innovativeness of the proposed program, it should be noted that one of the program's objectives is to develop an innovative low-waste technology for using microalgae biomass in wastewater and flue gas purification processes with parallel production of biomass as a raw material for biofuel production. It is planned to conduct research on the selection of stable phototrophic microorganisms to form a consortium, a comprehensive study of the consortium's ability to use flue gas CO₂, as well as absorb and accumulate metals and organic

matter. Considering the fact that phototrophic organisms are the fastest growing and most energy-efficient crops, it is advisable to analyze the energy potential of biomass obtained incidentally during the purification of industrial waste.

The proposed program has no similar analogues in Kazakhstan. In Kazakhstan, a limited number of studies are devoted to such biotechnological areas of using microalgae as their mass cultivation for obtaining feed additives and use in wastewater treatment from pollutants with subsequent use of this biomass in biodiesel production. The existing significant number of studies devoted to studying the mechanisms of plant resistance to TM mostly concerns terrestrial species; the resistance of aquatic phototrophic microorganisms to metals has been studied to a limited extent, despite their widespread use in wastewater treatment systems.

It should be noted that the proposed program has the potential to become an important element of global efforts to ensure the sustainability of nature and preserve its resources, so we draw your attention to the importance of its development in our country for the restoration of biodiversity in aquatic ecosystems. The problems of pollution of domestic and industrial wastewater due to anthropogenic impact, air pollution, climate change due to excessive release of carbon dioxide into the atmosphere are relevant and widespread throughout the planet. But despite the measures taken and the current methods available, it is necessary to search for innovative approaches and green technologies for more efficient purification of water resources from various types of pollutants and the transition to environmentally friendly fuels. Despite a number of unconditional advantages, modern physicochemical methods of cleaning environmental objects are burdened with significant disadvantages, such as complex regulation of the mode when using coagulants and flocculants, low efficiency, preliminary stages of purification, the formation of highly toxic eluates during sorption, requiring additional destruction, and others. The expected results of the program can serve as a basis for developing an alternative method for restoring environmental objects and switching to innovative technologies characterized by a low carbon footprint. The use of a consortium of phototrophic microorganisms has advantages such as cost-effectiveness, extraction of large quantities of xenobiotics due to the optimal ratio of the treated surface area to the volume, as well as reduced formation of chemical and biological sediments that must be removed.

In the field of plastic and man-made waste management, key recycling

methods are highlighted to minimize the environmental impact. There are four main recycling routes for solid plastic waste, namely, re-extrusion as a primary treatment, mechanical treatment as a secondary measure, chemical treatment as a tertiary measure, and energy recovery as a quaternary measure. Pyrolysis oil has properties close to clean fuel and is therefore a substitute for fresh fossil fuels for power generation, transportation, and other applications. The study found that pyrolysis of plastic waste offers an alternative way to utilize plastic waste and an alternative source of fossil fuels to reduce the overall demand for virgin oil. Through plastic pyrolysis, plastic waste is thermally converted into fuel by decomposing long-chain polymers into small complex molecules in the absence of oxygen, making this process technically and economically feasible for recycling plastic waste. The advantage of this process is that no pre-sorting is required and plastic waste can be fed directly without pre-treatment before the process. The products of plastic pyrolysis are pyrolysis oil, a hydrocarbon-rich gas with a calorific value of 25–45 MJ/kg, making it ideal for process energy recovery. Consequently, pyrolysis gas can be returned to the process to recover energy for process heating, significantly reducing the dependence on external heating sources [17].

The problems of agricultural waste disposal are relevant not only for Kazakhstan, but also for many countries around the world that are faced with the need for sustainable waste management. In Kazakhstan, for example, such valuable resources as rice husks and chicken manure are practically not used, although these wastes can be processed into adsorbents used to purify various types of water: industrial, drinking, waste and industrial. Given the importance of the problem for protecting the health of the population of Kazakhstan, the Institute of Coal Chemistry and Technology LLP has obtained preliminary samples of carbon adsorbents based on rice husks, straw, oilcake, chicken manure, plastic waste [18], as well as a complex fertilizer from oxidized coal of Kazakhstan. The adsorbents have undergone preliminary laboratory tests for the purification of drinking and waste sewage water taken from the State Enterprise Astana Su Arnasy (Astana).

Another direction for reducing emissions is briquetting of industrial waste. Briquetting of carbon-containing waste, including coal fines and biomass, is an effective method of processing, turning them into compact fuel briquettes with high energy value, which are easy to use and transport. There are two methods of coal briquetting: without binders, at high pressing pressure (above 80 MPa), and with a binder, at low pressing

pressures (15-25 MPa). The first method is used to briquette young (soft) brown coals and peat, the second method is used to briquette fines of hard and old (hard) brown coals, anthracite fines, semi-coke and coke fines [19].

Over the years, various binders have been used in the production of briquettes. They can be classified into several categories, depending on the temperature at which the briquettes are formed, or on the temperature of the primary heat treatment of the briquettes, or on the temperature of the final treatment. The cost of binders that ensure low-temperature briquetting is much higher than the price of binders that provide for high-temperature treatment, but low-temperature briquetting reduces capital costs and installation complexity. High-temperature processes occur at temperatures from 450 to 850 °C, resulting in sintering of the particles into a briquette. Low-temperature processes occur at temperatures up to 250 °C.

One of the most promising areas at present is considered to be biomass briquetting. There are combined technologies that combine the processing of solid fossil fuels and biomass. The introduction of porous renewable carbon-containing waste into the briquette not only solves environmental problems and reduces the cost of the commercial product, but also helps improve combustion kinetics.

The process of pressing organic waste into fuel briquettes has many advantages, including ease of transportation and storage, more consistent feeding into conversion equipment, and higher thermal conversion efficiency compared to loose biomass. The density and strength of fuel briquettes are of great importance, since low-quality briquettes may disintegrate and crumble back into the original materials during processing or storage, which in turn may negate the advantages of briquetting [20]. The addition of binders or agents to loose biomass residues before compaction is considered as one of the ways to eliminate such disadvantages and reduce production costs [21, 22]. However, due to the negative effects of using some binders in both compaction and combustion of briquettes, the development of more effective and sustainable binders for briquetting organic waste is necessary.

Microalgae have potential to be used as a binding material due to their high protein content and significant lignin content. In the presence of moisture, microalgae residues secrete a protein-binding substance that acts as a glue between particles of loose biomass, forming strong bridges and filling voids [23]. The use of microalgae as a binding component for

briquettes has gained great interest and has been the subject of extensive research in recent years, since this type of bio-energy resource can capture carbon for growth, be grown using wastewater, and can also have a high lipid content. Ensuring efficient energy and carbon recovery from microalgae residues is important for ensuring the environmental and economic sustainability of microalgal biofuels.

Biomass gasification is a key method of converting solid fuels into more usable forms of energy. Biomass, like coal, is traditionally used in a solid state, which may not be as convenient as using gaseous or liquid fuels. However, modern technology can efficiently convert biomass into gas or liquid fuels through the gasification process, providing a more flexible and environmentally friendly use of this renewable resource. Biomass is a renewable energy form with many positive features. Biomass feedstocks are often inexpensive by-products of agriculture or forestry. They have low ash and sulphur content and do not add to the level of carbon dioxide in the atmosphere. Biomass resources are divided into two categories: wet biomass (molasses, starches and manures) and dry biomass (wood and agricultural materials and waste).

In general, biomass, which is a renewable energy source, is a huge energy resource that is poorly used in Kazakhstan. More detailed information on the energy properties of biomass is given in [24]. The simplest and most centuries-old method of biomass utilization is simple combustion. An alternative method to direct combustion of biomass, which allows eliminating the disadvantages and difficulties inherent in direct combustion, is its thermochemical conversion.

However, the formation of tar during the gasification process is one of the major problems to be dealt with, as tar reduces the efficiency of the conversion and condenses at lower temperatures, causing certain problems such as equipment clogging, complicated routine maintenance and difficult operation. Tar is usually a thick, dark liquid and consists of a spectrum of condensable hydrocarbons and oxygenated compounds, which are mainly aromatic and complex polyaromatic hydrocarbons (PAHs). However, some of the tar spectrum, having a low condensation temperature, in particular light hydrocarbons (C₂-6), can actually avoid condensation and instead form tarry aerosols, which in turn degrades the quality of the exhaust gas and potentially makes it unsuitable for use in high-purity applications, other than direct combustion in boilers in hot form. It is a fact that the amount and composition of the resin obtained in the biomass gasification process depend on various factors such as the

type of biomass, the type of gasifier, the gasifying agent, and the operating temperature and pressure. There are more than 100 different compounds in the resin obtained from biomass.

In many cases, the simplest way to classify tars produced from biomass is to refer to tars as being of two types: “easy to break” tar and “hard to break” tar or “light tar” and “heavy tar” [25,26]. Tar is also used to represent all organic compounds with a molecular weight greater than benzene formed during biomass gasification. It should be noted that closed top dense bed gasification systems give higher tar yields than open top dense bed systems. Tests carried out in a joint India-Swiss project have shown that open top gasification systems produce the lowest tar output compared to other gasification systems [27]. This is due to the development of a front moving and propagating towards the upper end of the gasifier (due to the dual air inlet) from the top and nozzles. This ensures a longer residence time of the gases at high temperatures and the breakdown of the higher molecular weight fractions.

The integration of waste and renewable energy technologies contributes to environmental sustainability and energy independence. Pyrolysis methods and the use of phototrophic microorganisms support the creation of a sustainable energy infrastructure and the reduction of the carbon footprint. The development of biochemical approaches such as carbon capture and bioconversion reduce greenhouse gas emissions and transform waste into valuable resources. These innovations create scalable and cost-effective solutions that meet global environmental goals.

Conclusion. The introduction of waste recycling technologies strengthens Kazakhstan’s transition to sustainable development. Optimization of pyrolysis and biogas production reduce the carbon footprint and dependence on fossil fuels, increasing the efficiency of biomass use. Biochars are used to treat wastewater, promoting environmental sustainability.

The program increases the share of renewable energy, reduces risks and forms the basis for a “green economy”. The results include technology certification, patents and training of young professionals, which provides practical solutions to environmental and energy challenges.

Source of research funding. The work was carried out with the support of the Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan within the framework of the research project “BR24992833 Developing chemical and biochemical solutions to reduce carbon footprints and restore ecosystems through waste recycling”

References

- 1 Schiffer H.W., WEC energy policy scenarios to 2050. *Energy Policy*, 2008. 36(7): p. 2464-2470.
- 2 Kashyap D.R., Dadhich K.S., and Sharma S.K. Biomethanation under psychrophilic conditions: a review. *Bioresource Technology*, 2003. 87(2): p. 147-153.
- 3 Iea I. International energy agency. key world energy statistics. *Key World Energy Statistics*, 2015.
- 4 Pachauri R. K. and A. Reisinger. IPCC fourth assessment report. IPCC, Geneva, 2007. 2007: p. 044023.
- 5 Chen L., et al. Strategies to achieve a carbon neutral society: a review. *Environmental Chemistry Letters*, 2022. 20(4): p. 2277-2310.
- 6 Oehlmann J., Schulte-Oehlmann U., Kloas W., Jagnytsch O., Lutz I., Kusk K.O., Wollenberger L., Santos E.M., Paull G.C., Van Look K.J.W., Tyler C.R. 2009. A critical analysis of the biological impacts of plasticizers on wildlife. *Philos. Trans. R. Soc. London* 364, 2047–2062. <https://doi.org/10.1098/rstb.2008.0242>.
- 7 Pan D., Su F., Liu C., Guo Z., 2020. Research progress for plastic waste management and manufacture of value-added products. *Adv. Compos. Hybrid Mater.* 3, 443–461. <https://doi.org/10.1007/s42114-020-00190-0>.
- 8 Sims REH and Bassam N.E., Chapter 1 - Biomass and Resources, in *Bioenergy Options for a Cleaner Environment*, REH Sims, Editor. 2004, Elsevier: Oxford. p. 1-28.
- 9 Nowak J., et al., Composite structure of wood cells in petrified wood. *Materials Science and Engineering: C*, 2005. 25(2): p. 119-130.
- 10 Parawira W., et al., Energy production from agricultural residues: High methane yields in pilot-scale two-stage anaerobic digestion. *Biomass and Bioenergy*, 2008. 32(1): p. 44-50.
- 11 Tyagi V. K. and S.-L. Lo, Sludge: A waste or renewable source for energy and resource recovery? *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2013. 25: p. 708-728.
- 12 Cavinato C., et al., Thermophilic anaerobic co-digestion of cattle manure with agro-wastes and energy crops: Comparison of pilot and full scale experiences. *Bioresource Technology*, 2010. 101(2): p. 545-550.
- 13 Kacprzak A., Krzystek L., and Ledakowicz S., Co-digestion of agricultural and industrial wastes. 2010. 64(2): p. 127-131.
- 14 Callaghan F. J., et al., Continuous co-digestion of cattle slurry with fruit and vegetable wastes and chicken manure. *Biomass and Bioenergy*, 2002. 22(1): p. 71-77.
- 15 Muradin M. and Foltynowicz Z. Potential for Producing Biogas from Agricultural Waste in Rural Plants in Poland. *Sustainability*, 2014. 6, 5065-5074 DOI: 10.3390/su6085065.
- 16 Xia A., Cheng J., Lin R., Lu H., Zhou J., Cen K. Comparison in dark hydrogen fermentation followed by photo hydrogen fermentation and methanogenesis

between protein and carbohydrate compositions in *Nannochloropsis oceanica* biomass. *Bioresour. Technol.* 2013, 138, 204–213. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2013.03.171>.

17 Khan S. Biodegradation of polyester polyurethane by *Aspergillus tubingensis* / S. Khan, S. Nadir, ZU Shah [et al.] // *Environmental Pollution*. – 2017. – Vol. 225. – P. 469–480

18 Porous carbon materials based on carbon-containing raw materials of Kazakhstan. Monograph / Kazankapova M.K., Ermagambet B.T., Kasenov B.K., Nauryzbaeva A.T., Kasenova Zh.M., Kemelova B.A. - Nur-Sultan: LLP "Institute of Coal Chemistry and Technology", 2020. - 323 p.

19 Shuvalov Yu.V. Justification of rational technologies for obtaining fuel and energy raw materials based on solid combustible carbon-containing waste [Text] / Yu.V. Shuvalov, Yu.D. Tarasov, A.N. Nikulin // *Mining information and analytical bulletin*. - No. 8. - 2011. - P. 243-247.

20 Marreiro HMP, et al. Empirical Studies on Biomass Briquette Production: A Literature Review. *Energies*, 2021. 14, DOI: 10.3390/en14248320.

21 Muazu R.I. and. Stegemann J.A. Effects of operating variables on durability of fuel briquettes from rice husks and corn cobs. *Fuel Processing Technology*, 2015. 133: p. 137-145.

22 Kaliyan N. and Morey R.V., Natural binders and solid bridge type binding mechanisms in briquettes and pellets made from corn stover and switchgrass. *Bioresource Technology*, 2010. 101(3): p. 1082-1090.

23 Ververis C., et al., Cellulose, hemicelluloses, lignin and ash content of some organic materials and their suitability for use as paper pulp supplements. *Bioresource Technology*, 2007. 98(2): p. 296-301.

24 Pugach L.I., Serant F.A, Serant D.F. Alternative energy – renewable sources, use of biomass, thermochemical preparation, environmental safety / *Modern energy technologies. Proceedings of COTES. Issue 1.* – Novosibirsk. Publishing house of NSTU, 2006. – 347 p.

25 Correlá J., Toledo J.M., Aznar M. P. Improved the modeling of the kinetics of the catalytic tar elimination in biomass gasification. *Industrial & Engineering Chemistry Research*. 2002; 41:3351-6.

26 Pérez P., Aznar P.M., Caballero M.A., Gil J., Martín J.A., Corella J. Hot gas cleaning and upgrading with a calcined dolomite located downstream a biomass fluidized bed gasifier operating with steam-oxygen mixtures. *Energy & Fuels*. 1997; 11: 1194-203.

27 Dasappa S., Paul P., Mukunda H., Rajan N, Sridhar G. and Sridhar H., *Curr. Sci.*, 2004, 87, 908–916.

**Жұбанова А.А.¹, Нусипов Д.А.¹, Каменов Б.К.¹, Кожаметова М.Х.¹,
Аймагамбетов А.Т.¹, Арыстанбекұлы Б.¹, Сиангронг Л.²**

¹“Экология және биоресурстардың тұрақтылығы” ҒЗИ, әл-Фараби атындағы ҚазҰУ, Алматы қ., Қазақстан

²Химия және химиялық инженерия колледжі, Сиань ғылым және технология университеті, Сиань қ., Қытай

КӨМІРТЕК ІЗДЕРІН АЗАЙТУ ЖӘНЕ ҚАЛДЫҚТАРДЫ ҚАЙТА ӨНДЕУ АРҚЫЛЫ ЭКОЖҮЙЕНІ ҚАЛПЫНА КЕЛТІРУ ҮШІН ХИМИЯЛЫҚ ЖӘНЕ БИОХИМИЯЛЫҚ ШЕШІМДЕРДІ ӨЗІРЛЕУ

Түйіндеме. Мақалада көміртегі ізін азайтуға және экожүйелерді қалпына келтіруге бағытталған аграрлық және техногендік қалдықтарды қайта өңдеудің заманауи тәсілдеріне шолу берілген. Биокөмір, биогаз өндірісі және пиролиз процестерін оңтайландыру сияқты химиялық және биохимиялық шешімдерге назар аударылады. Өнеркәсіптік ағынды суларды адсорбциялық тазарту үшін ластануды азайтуға және ресурстарды ұтымды пайдалануға ықпал ететін биокөмірді қолдануға ерекше назар аударылады. Қазақстанның энергетикалық теңгеріміндегі жаңартылатын энергия үлесін арттыру және қазба отын түрлеріне тәуелділікті азайту перспективалары қарастырылуда. Зерттеу нәтижелерінен сертифицикатталған өнімді өзірлеуді, инновациялық технологияларды патенттеуді және оларды өндірістік процестерге енгізу күтіледі. Сондай-ақ, ғылыми-техникалық дамуға ықпал ететін жоғары білікті мамандарды даярлаудың және ғылыми мақалаларды жариялаудың маңыздылығы атап өтіледі. Мақала климаттың өзгеруінің жаһандық сын-қатерлеріне жауап беретін экологиялық тұрақты технологияларды ілгерілетуге қосқан үлесін көрсетеді.

Түйінді сөздер: микроорганизмдер, сорбция, пиролиз, биоконверсия, брикет, биоотын.

* * *

**Жұбанова А.А.¹, Нусипов Д.А.¹, Каменов Б.К.¹, Кожаметова М.Х.¹,
Аймагамбетов А.Т.¹, Арыстанбекұлы Б.¹, Сиангронг Л.²**

¹НИИ «Экология и устойчивость биоресурсов», КазНУ им. Аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан

²Колледж химии и химической инженерии, Сианьский университет науки и технологии, г. Сиань, Китай

РАЗРАБОТКА ХИМИЧЕСКИХ И БИОХИМИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ДЛЯ СОКРАЩЕНИЯ УГЛЕРОДНОГО СЛЕДА И ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЭКОСИСТЕМ ЧЕРЕЗ ПЕРЕРАБОТКУ ОТХОДОВ

Аннотация. В статье представлен обзор современных подходов к переработке аграрных и техногенных отходов, направленных на сокращение углеродного следа и восстановление экосистем. Основное внимание уделено

химическим и биохимическим решениям, таким как производство биоугля, биогаза и оптимизация процессов пиролиза. Особый акцент сделан на использовании биоугля для адсорбционной очистки промышленных стоков, что способствует снижению загрязнений и рациональному использованию ресурсов. Рассматриваются перспективы повышения доли возобновляемой энергии в энергетическом балансе Казахстана и уменьшения зависимости от ископаемых видов топлива. Ожидаемые результаты исследований включают разработку сертифицированной продукции, патентование инновационных технологий и их внедрение в производственные процессы. Также подчеркивается значимость подготовки высококвалифицированных специалистов и публикации научных статей, что способствует научно-техническому развитию. Статья демонстрирует вклад в продвижение экологически устойчивых технологий, отвечающих глобальным вызовам изменения климата.

Ключевые слова: микроорганизмы, сорбция, пиролиз, биоконверсия, брикет, биотопливо.

Information about the authors

Zhubanova Azhar Akhmetovna – professor, SRI “Ecology and Sustainability of Bioresources”, Kazakh National University named after Al-Farabi, Almaty c., Kazakhstan, azhar_1941@mail.ru

Contribution to the work: drawing up the original idea of the article

Nussipov Damir Asanovich – researcher at the Research Institute for Sustainability of Ecology and Bioresources, Kazakh National University named after Al-Farabi, Almaty c., Kazakhstan, nussipov.damir@mail.com

Contribution to the work: development of a low-waste technology for the use of microalgae biomass

Kamenov Bekzat Kelbetuly – researcher at the Research Institute for “Sustainability of Ecology and Bioresources”, Kazakh National University named after Al-Farabi, Almaty c., Kazakhstan, kamenov01@bk.ru

Contribution to the work: research on the selection of resistant phototrophic microorganisms

Kozhakhmetova Marzhan Khalidollaevna – researcher at the Research Institute of Sustainability of Ecology and Bioresources, Kazakh National University named after Al-Farabi, Almaty c., Kazakhstan, marzhanur.7@mail.ru

Contribution to the work: research of the consortium's ability to absorb and accumulate metals and organic substances

Aimagambetov A.T. – research Assistant of Research Institute «Ecology and Bioresources Sustainability», Kazakh National University named after Al-Farabi, Almaty c., Kazakhstan, anrayalan@gmail.com

Contribution to the work: assistance in drawing up an article plan

Arystanbekuly Birzhan - research Assistant of Research Institute «Ecology and Bioresources Sustainability», Kazakh National University named after Al-Farabi, Almaty c., Kazakhstan, birzhanarystanbek@gmail.com

Contribution to the work: assistance in drawing up an article plan

Xiangrong Liu - Second-Level Professor, PhD Supervisor, Director of Coal Biotransformation Laboratory at Xi'an University of Science and Technology, Xi'an c., China, liuxiangrongxk@163.com

Contribution to the work: distribution and regulation writing an article

Авторлар туралы мәліметтер

Жұбанова Ажар Ахметқызы – профессор, әл-Фараби атындағы ҚазҰУ, Алматы қ., Қазақстан, azhar_1941@mail.ru

Жұмысқа қосқан үлесі: мақаланың бастапқы идеясын құрастыру

Нусипов Дамир Асанович – «Экология және биоресурстардың тұрақтылығы» ҒЗИ ғылыми қызметкері, әл-Фараби атындағы ҚазҰУ, Алматы қ., Қазақстан, nussipov.damir@mail.com

Жұмысқа қосқан үлесі: микробалдырлар биомассасын пайдаланудың аз қалдықты технологиясын әзірлеу

Каменов Бекзат Келбетұлы – «Экология және биоресурстардың тұрақтылығы» ҒЗИ ғылыми қызметкері, әл-Фараби атындағы ҚазҰУ, Алматы қ., Қазақстан, kamenov01@bk.ru

Жұмысқа қосқан үлесі: тұрақты фототрофты микроорганизмдерді іріктеу бойынша зерттеу

Кожаметова Маржан Халидоллаевна – «Экология және биоресурстардың тұрақтылығы» ҒЗИ ғылыми қызметкері, әл-Фараби атындағы ҚазҰУ, Алматы қ., Қазақстан, marzhanur.7@mail.ru

Жұмысқа қосқан үлесі: консорциумның металдар мен органикалық заттарды сіңіру және сақтау қабілетін зерттеу

Аймагамбетов А.Т. – «Экология және биоресурстардың тұрақтылығы» ҒЗИ кіші ғылыми қызметкері, әл-Фараби атындағы ҚазҰУ, Алматы қ., Қазақстан, anrayalan@gmail.com

Жұмысқа қосқан үлесі: мақала жоспарын құруға көмектесу

Арыстанбекұлы Біржан – «Экология және биоресурстардың тұрақтылығы» ҒЗИ кіші ғылыми қызметкері, әл-Фараби атындағы ҚазҰУ, Алматы қ., Қазақстан, birzhanarystanbek@gmail.com

Жұмысқа қосқан үлесі: мақала жоспарын құруға көмектесу

Сиангронг Лю – Екінші Деңгейлі Профессор, Phd Ғылыми Жетекшісі, Сиань

Ғылым Және Технологиялар Университетінің Көмір Биотрансформациясы
Зертханасының Директоры, Сиань қ., Қытай, liuxiangrongxk@163.com

Жұмысқа қосқан үлесі: мақала жазу жоспарын бөлу және жазу

Сведения об авторах

Жубанова Ажар Ахметқызы – профессор, НИИ «Экология и устойчивость биоресурсов», КазНУ им. Аль-Фараби, Алматы г., Казахстан, azhar_1941@mail.ru

Вклад в работу: составление исходной идеи статьи

Нусипов Дамир Асанович – научный сотрудник НИИ «Устойчивости экологии и биоресурсов», КазНУ им. Аль-Фараби, Алматы г., Казахстан, nussipov.damir@mail.com

Вклад в работу: разработка малоотходной технологии использования биомассы микроводорослей

Каменов Бекзат Келбетұлы – научный сотрудник НИИ «Устойчивости экологии и биоресурсов», КазНУ им. Аль-Фараби, Алматы г., Казахстан, katenov01@bk.ru

Вклад в работу: исследование по отбору устойчивых фототрофных микроорганизмов

Кожаметова Маржан Халидоллаевна – научный сотрудник НИИ «Устойчивости экологии и биоресурсов», КазНУ им. Аль-Фараби, Алматы г., Казахстан, marzhanur.7@mail.ru

Вклад в работу: исследование способности консорциума поглощать и накапливать металлы и органические вещества

Аймагамбетов А.Т. – научный сотрудник Научно-исследовательского института «Экология и устойчивое использование биоресурсов», КазНУ им. Аль-Фараби, Алматы г., Казахстан, anrayalan@gmail.com

Вклад в работу: помощь в составлении плана статьи

Арыстанбекулы Биржан – научный сотрудник Научно-исследовательского института «Экология и устойчивое использование биоресурсов», КазНУ им. Аль-Фараби, Алматы г., Казахстан, birzhanarystanbek@gmail.com

Вклад в работу: помощь в составлении плана статьи

Сиангронг Лю – профессор второго уровня, научный руководитель PhD, директор лаборатории биотрансформации угля Сианьского университета науки и технологий, г. Сиань, Китай, liuxiangrongxk@163.com

Вклад в работу: разделение и регулирование написания статьи

МАҚАЛАНЫҢ АУДАРМАСЫ / ПЕРЕВОД СТАТЬИ

**Жубанова А.А.¹, Нусипов Д.А.¹, Каменов Б.К.¹, Кожахметова М.Х.¹,
Аймагамбетов А.Т.¹, Арыстанбекулы Б.¹, Сиангронг Л.²**

¹НИИ «Экология и устойчивость биоресурсов», КазНУ им. Аль-Фараби, Алматы г., Казахстан

²Колледж химии и химической инженерии, Сианьский университет науки и технологии, г. Сиань, Китай

РАЗРАБОТКА ХИМИЧЕСКИХ И БИОХИМИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ДЛЯ СОКРАЩЕНИЯ УГЛЕРОДНОГО СЛЕДА И ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЭКОСИСТЕМ ЧЕРЕЗ ПЕРЕРАБОТКУ ОТХОДОВ

Аннотация. В статье представлен обзор современных подходов к переработке аграрных и техногенных отходов, направленных на сокращение углеродного следа и восстановление экосистем. Основное внимание уделено химическим и биохимическим решениям, таким как производство биоугля, биогаза и оптимизация процессов пиролиза. Особый акцент сделан на использовании биоугля для адсорбционной очистки промышленных стоков, что способствует снижению загрязнений и рациональному использованию ресурсов. Рассматриваются перспективы повышения доли возобновляемой энергии в энергетическом балансе Казахстана и уменьшения зависимости от ископаемых видов топлива. Ожидаемые результаты исследований включают разработку сертифицированной продукции, патентование инновационных технологий и их внедрение в производственные процессы. Также подчеркивается значимость подготовки высококвалифицированных специалистов и публикации научных статей, что способствует научно-техническому развитию. Статья демонстрирует вклад в продвижение экологически устойчивых технологий, отвечающих глобальным вызовам изменения климата.

Ключевые слова: микроорганизмы, сорбция, пиролиз, биоконверсия, брикет, биотопливо.

Введение. Программа направлена на разработку инновационных технологий переработки отходов для снижения углеродного следа и восстановления экосистем. Устойчивое управление отходами становится особенно актуальным в условиях климатических изменений и нарастающего экологического кризиса. Основное внимание уделено переработке промышленных и сельскохозяйственных отходов в полезные продукты, включая биотопливо, энергию и материалы,

что способствует снижению зависимости от ископаемых источников и поддерживает «зеленую экономику». Программа решает задачи разработки перспективных методов пиролиза, использования биохимических процессов для получения энергии и очистки загрязнённых экосистем. Эти технологии способны не только улучшить экологическую обстановку, но и стать основой для международного внедрения устойчивых решений. Партнёрство научных и промышленных организаций усиливает потенциал программы, обеспечивая её интеграцию в национальную экономику. Совместные исследования и разработка прикладных технологий позволяют достичь экологических и энергетических целей, минимизируя воздействие на окружающую среду и создавая базу для масштабирования инновационных решений на глобальном уровне.

Методы и результаты исследования. Перманентно возрастающее использование традиционных источников энергии и как следствие этого увеличивающееся загрязнение окружающей среды ставят перед человечеством вызов к поиску альтернативных источников энергии. К тому же, мировое население растёт с тревожной скоростью; согласно прогнозам ООН, к 2050 году численность населения планеты достигнет около десяти миллиардов человек. Это неизбежно приведет к значительному увеличению спроса на энергию, примерно на 24 миллиарда тонн угольного эквивалента ежегодно [1]. Учитывая рост экологических проблем и цен на энергоресурсы, разработка и внедрение альтернативных источников энергии становятся критически важным направлением в энергетике будущего. Особенно велико внимание к производству биотоплива, включая этанол, биодизель и биогаз, из возобновляемых источников энергии [2]. Международное энергетическое агентство (МЭА) отмечает, что более 80% мировых поставок первичной энергии приходится на ископаемое топливо, основной источник антропогенных выбросов углекислого газа, который является основным фактором глобального потепления [3]. Поэтому снижение мировых выбросов CO₂ по меньшей мере на 50% по сравнению с уровнем 2000 года к 2050 году, как указывает Межправительственная группа экспертов по изменению климата (МГЭИК), является обязательным условием для устойчивого будущего [4]. Электроэнергетический сектор, который производит около 42% всех выбросов CO₂, активно исследует технологические решения, способные сократить выбросы [5].

Так же, как и неизбежные проблемы в сфере энергетики, загрязне-

ние пластиком, которое характеризуется его широким распространением и продолжительным временем разложения, представляет собой серьезную угрозу экологической устойчивости и здоровью человека. Пластик, обладающий такими ценными свойствами, как легкость, прочность, хорошая жесткость, универсальные возможности для изготовления, хорошая теплоизоляция, низкая проводимость электричества/тепла и устойчивость к коррозии [6,7], широко используется в различных секторах. Однако его влияние на окружающую среду катастрофично. По оценкам, около 4% мировой добычи нефти и газа идет на производство пластика, что также увеличивает объемы выбросов вредных веществ [7]. Ежегодное глобальное производство пластика превышает 359 миллионов тонн, и хотя он предлагает множество преимуществ, он также создает серьезные экологические проблемы. Микрочастицы пластика распространяются в атмосфере, водоемах и почве, вызывая негативные последствия для здоровья человека и животных, такие как сердечно-сосудистые заболевания, хронические болезни почек, другие заболевания [6,7].

Проблемы утилизации аграрных и техногенных отходов остро стоят не только перед Казахстаном, но и перед множеством других стран. Во всем мире накопление отходов от сельского хозяйства и промышленной деятельности вызывает серьезные экологические проблемы, включая загрязнение воды, почвы и воздуха, а также угрозу биоразнообразию. В аграрном секторе огромные объемы сельскохозяйственных отходов, таких как стебли кукурузы, пшеничная солома и другие растительные остатки, часто сжигаются или захораниваются, что приводит к выделению в атмосферу метана и углекислого газа. Эти газы являются значимыми факторами глобального потепления.

Промышленные отходы, включая угольную пыль и металлургические шлаки, также представляют собой значительную проблему. Без должной переработки эти материалы могут оказывать токсическое воздействие на окружающую среду, загрязняя земельные и водные ресурсы тяжелыми металлами и другими вредными веществами. Поэтому поиск эффективных методов утилизации таких отходов становится приоритетным направлением в стратегиях устойчивого развития. Развитие и внедрение технологий, которые могут превращать аграрные и техногенные отходы в полезные ресурсы, такие как биотопливо, строительные материалы или даже источники возобновляемой энергии, является ключевым элементом для сокращения экологической нагрузки и поддержания экологического баланса.

Программа выделяется инновационным подходом к переработке аграрных и техногенных отходов, преобразуя их в полезные продукты: биотопливо, строительные материалы и энергию. Эти технологии значительно снижают объемы отходов и углеродный след, поддерживая экологически чистые и устойчивые решения. Особое внимание уделено разработке экономически эффективных технологий, соответствующих глобальным целям борьбы с изменением климата и перехода к «зеленой экономике». Программа имеет значение не только для локальных экологических задач, но и для достижения энергетической независимости и устойчивого развития на международном уровне. Для решения экологических проблем, разработка эффективной технологии получения биогаза из отходов сельскохозяйственной промышленности представляет собой ключевое направление. Этот процесс позволяет не только сократить объемы аграрных отходов, но и превратить их в ценный источник возобновляемой энергии, тем самым способствуя устойчивому развитию и снижению углеродных эмиссий. Среди перспективных источников биоэнергии сельскохозяйственная лигноцеллюлозная биомасса является основным источником разнообразных органических биопродуктов (органических кислот, пищевых добавок, ферментов и т. д.), а также, это хорошее биотопливо из-за ее биохимического состава, состоящего из сахаров и других ценных компонентов. Преобразование сельскохозяйственных отходов, а именно пшеничной соломы, стеблей кукурузы, рисовой соломы, жмыха сахарной свеклы и т. д. в биогаз может служить перспективной заменой для решения основной части энергетических проблем. Лигноцеллюлозная биомасса представляет собой неисчерпаемый и обильный возобновляемый ресурс, который постоянно пополняется в процессе фотосинтеза. В его состав входит значительная часть отходов сельскохозяйственных культур, энергетических культур, навоза животных, твердых бытовых отходов (ТБО), и остатки леса [8]. Эти экономичные возобновляемые источники энергии доступны в большом количестве. В свою очередь, их избыточное накопление может приводить к экологическим проблемам, и, если их не использовать и некорректно утилизировать, то это приведет к существенной потере ценных биоресурсов. Вышеперечисленное обуславливает интерес к процессам конверсии и использования сельскохозяйственной лигноцеллюлозной биомассы для производства энергии/электроэнергии посредством прямых и косвенных путей конверсии. Общее потребление энергии во всем мире в год составляет четверть

скорости синтеза целлюлозы растениями и водорослями (8,5х10¹⁰ т/годовой эквивалент) [9]. Прямое сжигание для производства тепла и электроэнергии является классическим способом использования биомассы для получения энергии [10]. Тем не менее, процесс анаэробного сбраживания или биометанизация представляет собой эффективный способ превратить огромную биомассу, такую как навоз животных, лигноцеллюлозные сельскохозяйственные остатки, отходы лесного хозяйства, коммунальные и пищевые отходы и т. д., в биогаз под действием разнообразных групп микробных популяций в анаэробных условиях [11].

Однако анаэробное сбраживание различных органических биомасс является относительно чувствительным процессом, который в основном зависит от соединений субстратов, которые могут быть преобразованы в биогаз: химический состав и биоразлагаемость биомассы являются ключевыми факторами для производства биогаза. Множество исследований направлено на процесс анаэробного сбраживания с использованием моносубстратов. Однако, в последние годы активно проводятся исследования по производству биогаза с помощью анаэробного совместного брожения (АСБ) сельскохозяйственных отходов и навоза. Например, Cavinato et al. провели совместное брожение навоза крупного рогатого скота, агроотходов и энергетических культур [12]; Kasprzak и др. проанализировали совместное брожение сельскохозяйственных отходов и ТБО [13]. Callaghan et al. оптимизировали процесс совместного сбраживания путем использования трех видов сырья: крупного рогатого скота, куриного помета и фруктово-овощных отходов [14]. Muradin and Foltynowicz провели экономический анализ биогазовой установки, которая перерабатывала девять видов сырья (т.е. кукурузный силос, картофельную пульпу, отработанные отходы виноделия, фруктовые и овощные выжимки, зерновые, отходы растительных тканей, муниципальный ил и соевое масло) [15]. АСБ представляет собой экономически рентабельный процесс и может обеспечить эффективный синергизм в реакторе. Резко возросшее количество публикаций по тематике АСБ в последние десятилетия свидетельствуют о том, что процессу анаэробного сбраживания уделяется все большее внимание и увеличение производства биогаза является одной из актуальнейших тем для исследований.

Важным направлением исследований также является использование фототрофных микроорганизмов, таких как микроводоросли, которые могут использоваться для улавливания углекислого газа и

производства биотоплива. Эти микроорганизмы способны поглощать значительные объемы CO_2 , что делает их ценным инструментом в борьбе с глобальным потеплением. Они также могут использоваться для очистки сточных вод, удаляя токсичные вещества и питательные элементы, предотвращая эвтрофикацию водоемов и способствуя производству экологически чистой энергии [16]. Исследовательская группа имеет достаточный опыт работы в области биотехнологии фототрофных микроорганизмов, в том числе в области исследований их потенциала в очистке водных экосистем, загрязненных различными токсикантами, а также научной группой проводятся исследования по поиску и выделению штаммов микроводорослей, являющихся перспективными продуцентами, либо сырьем для производства экологически чистых видов биотоплива. Коллектив имеет большой задел в области исследований микроводорослей, их морфологических и физиолого-биохимических особенностей и обладает большим опытом по культивированию микроводорослей, получению на их основе различных биологически активных веществ и БАДов. Исследовательской группой получены патенты и опубликованы статьи в высокорейтинговых международных журналах и учебные пособия, что является подтверждением имеющегося достаточного опыта для реализации предлагаемой программы. Также, в лаборатории биотехнологии имеется коллекция фототрофных микроорганизмов, включающая более 50 чистых штаммов микроводорослей и цианобактерий, 20 штаммов из которых получены и депонированы в РКМ.

Обосновывая научную новизну и инновационность предлагаемой программы необходимо отметить, что одна из задач программы направлена на разработку инновационной малоотходной технологии использования биомассы микроводорослей в процессах очистки стоков и дымовых газов с параллельным получением биомассы как сырья для производства биотоплива. При этом планируется проведение исследований по отбору устойчивых фототрофных микроорганизмов для формирования консорциума, комплексное исследование способности консорциума использовать CO_2 дымовых газов, а также поглощать и накапливать металлы и органические вещества. Учитывая тот факт, что фототрофные организмы — самые быстрорастущие и высокоэнергетические культуры, целесообразно проведение анализа энергетического потенциала биомассы, полученной попутно при очистке отходов производства.

Предлагаемая программа не имеет подобных аналогов в Казах-

стане. В Казахстане ограниченное количество исследований посвящено таким биотехнологическим областям использования микроводорослей, как их массовое культивирование для получения кормовых добавок и применение в очистке сточных вод от загрязнителей с дальнейшим применением этой биомассы в производстве биодизеля. Существующее значительное количество исследований, посвященных изучению механизмов резистентности растений к ТМ, больше всего касается наземных видов, устойчивость водных фототрофных микроорганизмов к металлам исследовано ограниченно, вопреки их широкому использованию в системах очистки сточных вод.

Отметим, что предлагаемая программа имеет потенциал стать важным элементом глобальных усилий по обеспечению устойчивости природы и сохранению ее ресурсов, поэтому подводим Ваше внимание к значимости его развития в нашей стране для восстановления биоразнообразия в водных экосистемах. Проблемы загрязнения бытовых и промышленных сточных вод из-за антропогенного воздействия, загрязнения атмосферы, изменения климатических условий вследствие избыточного выделения углекислого газа в атмосферу, являются актуальными и распространенными в масштабах всей планеты. Но несмотря на принимаемые меры и имеющиеся текущие методы, требуется поиск новаторских подходов и зеленых технологий для более эффективной очистки водных ресурсов от различного рода загрязнителей и перехода на экологически чистые виды топлива. Несмотря на ряд безусловных преимуществ, современные физико-химические методы очистки объектов окружающей среды, обременены значительными недостатками, такими как сложная регуляция режима при использовании коагулянтов и флокулянтов, низкая эффективность, предварительные этапы очистки, образование высокотоксичных элюатов при сорбции, требующих дополнительной деструкции, и другие. Предполагаемые результаты программы могут послужить основой для разработки альтернативного метода восстановления объектов окружающей среды и перехода на инновационные технологии, характеризующиеся низким углеродным следом. Использование консорциума фототрофных микроорганизмов обладает преимуществами, такими как рентабельность, извлечения большого количества ксенабиотиков за счет оптимального соотношения площади обрабатываемой поверхности к объему, а также уменьшенное образование химических и биологических осадков, подлежащих изъятию.

В области управления пластиковыми и техногенными отходами

выделяются ключевые методы их переработки, направленные на минимизацию экологического воздействия. Существует четыре основных направления переработки твердых пластиковых отходов, а именно: резкструзия в качестве первичной обработки, механическая обработка в качестве вторичной меры, химическая обработка в качестве третичной меры и рекуперация энергии в качестве четвертичной меры. Пиролизное масло имеет свойства, близкие к чистому топливу, и, следовательно, является заменителем свежего ископаемого топлива для производства электроэнергии, транспорта и других применений. Исследование показало, что пиролиз пластиковых отходов предлагает альтернативный способ утилизации пластиковых отходов и альтернативный источник ископаемого топлива для снижения общего спроса на первичную нефть. Посредством пиролиза пластика пластиковые отходы термически превращаются в топливо путем разложения длинноцепочечных полимеров на небольшие сложные молекулы в отсутствие кислорода, что делает этот процесс технически и экономически целесообразным для переработки пластиковых отходов. Преимущество этого процесса заключается в том, что не требуется предварительная сортировка, а пластиковые отходы можно подавать непосредственно без предварительной обработки перед процессом. Продуктами пиролиза пластмасс являются пиролизное масло, богатый углеводородами газ с теплотворной способностью 25–45 МДж/кг, что делает его идеальным для регенерации технологической энергии. Следовательно, пиролизный газ можно возвращать в процесс для извлечения энергии для технологического нагрева, что существенно снижает зависимость от внешних источников нагрева [17].

Проблемы утилизации аграрных отходов являются актуальными не только для Казахстана, но и для многих стран мира, сталкивающихся с необходимостью устойчивого управления отходами. В Казахстане, например, практически не используются такие ценные ресурсы, как рисовая шелуха и куриный помет, хотя эти отходы могут быть переработаны в адсорбенты, используемые для очистки различных типов вод: производственных, питьевых, сточных и промышленных. Учитывая важность проблемы для охраны здоровья населения Казахстана в ТОО «Институт химии угля и технологии» получены предварительные образцы углеродных адсорбентов на основе рисовой шелухи, соломы, жмыха, куриного помета, пластиковых отходов [18], а также комплексное удобрение из окисленного угля Казахстана. Адсорбенты прошли предварительные лабораторные испытания

по очистке питьевых и сточных канализационных вод, взятых в ГКП «Астана су арнасы» (г. Астана).

Еще одним направлением для снижения выбросов является брикетирование техногенных отходов. Брикетирование углеродсодержащих отходов, включая угольную мелочь и биомассу, представляет собой эффективный способ переработки, превращая их в компактные топливные брикеты с высокой энергетической ценностью, которые удобны в использовании и транспортировке. Различают два способа брикетирования углей: без связующих веществ, при повышенном давлении прессования (выше 80 МПа), и со связующим веществом, при малых давлениях прессования (15-25 МПа). По первому способу брикетируются молодые (мягкие) бурые угли и торф, по второму – мелочь каменных и старых (твердых) бурых углей, антрацитовый штыб, полукоксовая и коксовая мелочь [19].

В течение многих лет в производстве брикетов использовались различные связующие. Их можно классифицировать по нескольким категориям – в зависимости от температуры, при которой формируются брикеты, или от температуры первичной термообработки брикетов или же температуры окончательной обработки. Стоимость связующих веществ, обеспечивающих низкотемпературное протекание процесса брикетирования, намного выше, чем цена на связующие, предусматривающие высокотемпературную обработку, но при низкотемпературном брикетировании уменьшаются капитальные затраты и сложность установки. Высокотемпературные процессы проходят при температурах от 450 до 850 °С, в результате чего происходит спекание частиц в брикет. Низкотемпературные процессы происходят при температурах до 250°С.

Одним из наиболее перспективных направлений в настоящее время считается брикетирование биомассы. Существуют комбинированные технологии, совмещающие переработку твердых горючих ископаемых и биомассы. Введение в брикет пористых возобновляемых углеродсодержащих отходов не только решает экологические проблемы и удешевляет стоимость товарного продукта, но и способствует улучшению кинетики сгорания.

Процесс прессования органических отходов в топливные брикеты имеет множество преимуществ, в том числе легкость транспортировки и хранения, более последовательную подачу в конверсионное оборудование и более высокую эффективность термического преобразования по сравнению с рыхлой биомассой. Плотность и прочность то-

плавных брикетов имеют большое значение, поскольку брикеты низкого качества могут распадаться и рассыпаться обратно на исходные материалы при переработке или хранении, что в свою очередь может нивелировать преимущества брикетирования [20]. Добавление связующих компонентов или агентов к рыхлым остаткам биомассы перед их уплотнением рассматривается как один из способов устранения таких недостатков и снижения производственных затрат [21, 22]. Однако из-за негативных последствий использования некоторых связующих как при уплотнении, так и при сжигании брикетов, необходима разработка более эффективных и устойчивых связующих для брикетирования органических отходов.

Микроводоросли потенциально могут быть использованы в качестве связующего материала благодаря высокому содержанию белка и значительного содержания лигнина. В присутствии влаги остатки микроводорослей выделяют вещество, связывающее белок, которое действует как клей между частицами рыхлой биомассы, образуя прочные мостики и заполняя пустоты [23]. Использование микроводорослей в качестве связующего компонента для брикетов приобрело большой интерес и стало предметом масштабных исследований за последнее время, поскольку данный вид био и энергоресурса может улавливать углерод для роста, выращиваться с использованием сточных вод, а также, может иметь высокое содержание липидов. Обеспечение эффективного извлечения энергии и углерода из остатков микроводорослей имеет важное значение для обеспечения экологической и экономической устойчивости микроводорослевого биотоплива.

Газификация биомассы является ключевым методом преобразования твердого топлива в более удобные для использования формы энергии. Биомасса, подобно углю, традиционно используется в твердом состоянии, что может быть не так удобно, как использование газообразного или жидкого топлива. Однако современные технологии позволяют эффективно преобразовывать биомассу в газ или жидкое топливо через процесс газификации, обеспечивая тем самым более гибкое и экологичное использование этого возобновляемого ресурса. Биомасса – это возобновляемая энергетическая форма с множеством позитивных особенностей. Сырье биомассы часто является недорогим побочным продуктом сельского хозяйства или лесоводства. Оно имеет низкое содержание золы и серы и не увеличивает уровень углекислого газа в атмосфере. Ресурсы биомассы делятся на две ка-

тегии: влажная биомасса (меласса, крахмалы и навозы) и сухая биомасса (древесные и сельскохозяйственные материалы и отходы).

В целом, биомасса, являющаяся возобновляемым источником энергии – это огромный энергетический ресурс, слабо использованный в Казахстане. Более подробные сведения об энергетических свойствах биомассы приведены в [24]. Наиболее простым и веками используемым способом утилизации биомассы является простое сжигание. Альтернативным способом прямому сжиганию биомассы, позволяющему исключить присущие прямому способу сжигания недостатки и трудности, является её термохимическая конверсия.

Однако в процессе газификации происходит образование смолы, что является одной из серьезных проблем, с которыми приходится иметь дело, так как смоласнижает эффективность преобразования конденсируясь при понижении температуры приводит к определённым неприятностям, такими как засорение оборудования, усложнению регламентного обслуживания и затрудняет эксплуатацию. Смола обычно представляет собой густую, темного цвета жидкость и состоит из спектра конденсируемых углеводородов и кислородосодержащих соединений, которые в основном являются ароматическими и сложными полиароматическими углеводородами (ПАУ). При этом часть спектра смол, имея низкую температуру конденсации, в частности, легкие углеводороды (C2-6) могут фактически избегать конденсации и вместо этого образовывать смолистые аэрозоли, что, в свою очередь, ухудшает качество выходящего газа и потенциально делает его непригодным для использования в высокочистых приложениях, помимо прямого сжигания их в котлах в горячем виде. Является фактом, что количество и состав смолы, получаемой в процессе газификации биомассы, зависят от различных факторов, таких как тип биомассы, тип газогенератора, газифицирующий агент, а также рабочая температура и давление. В смоле, полученной из биомассы, существует более 100 различных соединений.

Во многих случаях простейшим способом классификации смолы, получаемой из биомассы, является упоминание гудронов по двум типам: смола «легко разрушаемая» и «смола трудно разрушаемая» или «легкая смола» и «тяжелая смола» [25,26]. Смола также используется для представления всех органических веществ с молекулярной массой, большей, чем у бензола, образующегося при газификации биомассы. Следует заметить, что система газификации плотного слоя с закрытой верхней частью дают более высокий выход смолы

по сравнению с системой плотного слоя с открытой верхней частью. Испытания, выполненные в совместном проекте Индии и Швейцарии, показали, что системы газификации с открытым верхом производят самое низкое количество смол по сравнению с другими системами газификации [27]. Это происходит за счёт появления фронтадвигающегося и распространяющегося к верхнему концу газификатора (из-за двойного входа воздуха) от верхней части и сопел. Это обеспечивает более высокий срок пребывания газов при высоких температурах и распада фракций с более высоким молекулярным весом.

Интеграция технологий переработки отходов и возобновляемых источников энергии способствует экологической безопасности и энергетической независимости. Методы пиролиза и использование фототрофных микроорганизмов поддерживают создание устойчивой энергетической инфраструктуры и сокращение углеродного следа. Разработка биохимических подходов, таких как улавливание углерода и биоконверсия, позволяет уменьшить выбросы парниковых газов и преобразовать отходы в ценные ресурсы. Эти инновации создают масштабируемые и экономически эффективные решения, соответствующие глобальным экологическим целям.

Вывод. Внедрение технологий переработки отходов укрепляет переход Казахстана к устойчивому развитию. Оптимизация пиролиза и производство биогаза снижают углеродный след и зависимость от ископаемого топлива, повышая эффективность использования биомассы. Биоугли применяются для очистки стоков, способствуя экологической устойчивости. Программа увеличивает долю возобновляемой энергии, снижает риски и формирует основу для «зеленой экономики». Результаты включают сертификацию технологий, патенты и подготовку молодых специалистов, что обеспечивает практические решения для экологических и энергетических вызовов.

Источник финансирования исследований. Работа выполнена при поддержке МОН РК в рамках научно-исследовательского проекта «BR24992833 Разработка химических и биохимических решений для сокращения углеродного следа и восстановления экосистем через переработку отходов»

Список литературы / References

- 1 *Schiffer H.W.*, WEC energy policy scenarios to 2050. *Energy Policy*, 2008. 36(7): p. 2464-2470.
- 2 *Kashyap D.R., Dadhich K.S., and Sharma S.K.*, Biomethanation under psychrophilic conditions: a review. *Bioresource Technology*, 2003. 87(2): p. 147-153.
- 3 *Iea I.*, International energy agency. key world energy statistics. *Key World Energy Statistics*, 2015.
- 4 *Pachauri R. K. and A. Reisinger*, IPCC fourth assessment report. IPCC, Geneva, 2007. 2007: p. 044023.
- 5 *Chen L., et al.*, Strategies to achieve a carbon neutral society: a review. *Environmental Chemistry Letters*, 2022. 20(4): p. 2277-2310.
- 6 *Oehlmann J., Schulte-Oehlmann U., Kloas W., Jagnytsch O., Lutz I., Kusk K.O., Wollenberger L., Santos E.M., Paull G.C., Van Look K.J.W., Tyler C.R.*, 2009. A critical analysis of the biological impacts of plasticizers on wildlife. *Philos. Trans. R. Soc. London* 364, 2047–2062. <https://doi.org/10.1098/rstb.2008.0242>.
- 7 *Pan D., Su F., Liu C., Guo Z.*, 2020. Research progress for plastic waste management and manufacture of value-added products. *Adv. Compos. Hybrid Mater.* 3, 443–461. <https://doi.org/10.1007/s42114-020-00190-0>.
- 8 *Sims REH and Bassam N.E.*, Chapter 1 - Biomass and Resources, in *Bioenergy Options for a Cleaner Environment*, REH Sims, Editor. 2004, Elsevier: Oxford. p. 1-28.
- 9 *Nowak J., et al.*, Composite structure of wood cells in petrified wood. *Materials Science and Engineering: C*, 2005. 25(2): p. 119-130.
- 10 *Parawira W., et al.*, Energy production from agricultural residues: High methane yields in pilot-scale two-stage anaerobic digestion. *Biomass and Bioenergy*, 2008. 32(1): p. 44-50.
- 11 *Tyagi V. K. and S.-L. Lo*, Sludge: A waste or renewable source for energy and resource recovery? *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2013. 25: p. 708-728.
- 12 *Cavinato C., et al.*, Thermophilic anaerobic co-digestion of cattle manure with agro-wastes and energy crops: Comparison of pilot and full scale experiences. *Bioresource Technology*, 2010. 101(2): p. 545-550.
- 13 *Kacprzak A., Krzystek L., and Ledakowicz S.*, Co-digestion of agricultural and industrial wastes. 2010. 64(2): p. 127-131.
- 14 *Callaghan F. J., et al.*, Continuous co-digestion of cattle slurry with fruit and vegetable wastes and chicken manure. *Biomass and Bioenergy*, 2002. 22(1): p. 71-77.
- 15 *Muradin M. and Foltynowicz Z.* Potential for Producing Biogas from Agricultural Waste in Rural Plants in Poland. *Sustainability*, 2014. 6, 5065-5074 DOI: 10.3390/su6085065.
- 16 *Xia A., Cheng J., Lin R., Lu H., Zhou J., Cen K.* Comparison in dark hydrogen fermentation followed by photo hydrogen fermentation and methanogenesis

between protein and carbohydrate compositions in *Nannochloropsis oceanica* biomass. *Bioresour. Technol.* 2013, 138, 204–213. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2013.03.171>.

17 Khan S. Biodegradation of polyester polyurethane by *Aspergillus tubingensis* / S. Khan, S. Nadir, ZU Shah [et al.] // *Environmental Pollution*. – 2017. – Vol. 225. – P. 469–480

18 Пористо-углеродные материалы на основе углеродсодержащего сырья Казахстана. Монография / Казанкапова М.К., Ермағамбет Б.Т., Касенов Б.К., Наурызбаева А.Т., Касенова Ж.М., Кемелова Б.А. – Нур-Султан: ТОО «Институт химии угля и технологии», 2020. – 323 с.

19 Шувалов Ю.В. Обоснование рациональных технологий получения топливно-энергетического сырья на основе твердых горючих углеродсодержащих отходов [Текст] / Ю.В. Шувалов, Ю.Д. Тарасов, А.Н. Никулин // Горный информационно-аналитический бюллетень. – № 8. – 2011. – С. 243-247.

20 Marreiro H.M.P., et al. Empirical Studies on Biomass Briquette Production: A Literature Review. *Energies*, 2021. 14, DOI: 10.3390/en14248320.

21 Muazu R.I. and Stegemann J.A., Effects of operating variables on durability of fuel briquettes from rice husks and corn cobs. *Fuel Processing Technology*, 2015. 133: p. 137-145.

22 Kaliyan N. and Morey R.V., Natural binders and solid bridge type binding mechanisms in briquettes and pellets made from corn stover and switchgrass. *Bioresource Technology*, 2010. 101(3): p. 1082-1090.

23 Ververis C., et al., Cellulose, hemicelluloses, lignin and ash content of some organic materials and their suitability for use as paper pulp supplements. *Bioresource Technology*, 2007. 98(2): p. 296-301.

24. Пугач Л.И., Серант Ф.А., Серант Д.Ф. Нетрадиционная энергетика – возобновляемые источники, использование биомассы, термохимическая подготовка, экологическая безопасность / Современные энерготехнологии. Труды КОТЭС. Выпуск 1. – Новосибирск. Изд-во НГТУ, 2006. – 347 с.

25 Correla J., Toledo J. M., Aznar M. P. Improved the modeling of the kinetics of the catalytic tar elimination in biomass gasification. *Industrial & Engineering Chemistry Research*. 2002; 41:3351-6.

26 Perez P., Aznar P.M., Caballero M.A., Gil J., Martin J.A., Corella J. Hot gas cleaning and upgrading with a calcined dolomite located downstream a biomass fluidized bed gasifier operating with steam-oxygen mixtures. *Energy & Fuels*. 1997; 11: 1194-203.

27 Dasappa S., Paul P., Mukunda H., Rajan N, Sridhar G. and Sridhar H., *Curr. Sci.*, 2004, 87, 908–916.

**Джумадилов Т.К.¹, Тасибеков Х.С.¹, Химэрсэн Х.¹,
Кабидолла Д.А.², Жакслыкова Д.Р.²**

¹Институт химических наук им. А.Б. Бектурова, г. Алматы, Казахстан

²Казахстанско-Британский технический университет,
г. Алматы, Казахстан

ВЛИЯНИЕ ЭФФЕКТА ДАЛЬНОДЕЙСТВИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ИОНИТОВ НА СОРБЦИОННУЮ АКТИВНОСТЬ ИНТЕРПОЛИМЕРНОЙ СИСТЕМЫ «КУ-2-8@АВ-17-8» (Х:У) В ОТНОШЕНИИ ИОНОВ СКАНДИЯ И ИТТРИЯ

Аннотация. Настоящая работа посвящена исследованию влияния эффекта дальнего действия промышленных ионообменных смол КУ-2-8 (катионит) и АВ-17-8 (анионит), находящихся в интерполимерной системе «КУ-2-8:АВ-17-8» (Х:У) с соотношением ионогенных групп Х:У, на сорбцию ионов скандия и иттрия. Установлено, что за счет дистанционного взаимодействия и взаимной активации ионитов, сорбционные свойства интерполимерной системы значительно увеличиваются. В работе определены оптимальные соотношения компонентов системы для максимального извлечения ионов скандия и иттрия. Экспериментально показано, что при соотношении ионообменных смол КУ-2-8:АВ-17-8 равном 5:1, остаточная концентрация скандия в растворе снижается от 100,00 мг/л до 54,10 мг/л после 48 ч. взаимодействия. Тогда как, при соотношениях ионитов КУ-2-8:АВ-17-8 равном 4:2 минимальное остаточное содержание ионов иттрия после сорбции в исследуемом растворе изменяется от 100,00 мг/л до 32,18 мг/л по истечению 48 ч. взаимодействия. Полученные результаты демонстрируют перспективность применения интерполимерных систем для повышения эффективности извлечения редкоземельных металлов, что открывает новые возможности в гидрометаллургии и технологии переработки промышленных растворов.

Ключевые слова: сорбция, скандий, ионообменные смолы, интерполимерная система, гидрометаллургия.

Введение. В настоящее время исследования процессов сорбции редкоземельных металлов (РЗМ) ведутся активно по всему миру. Продолжается изучение таких методов извлечения ионов РЗМ как жидкостная экстракция, осаждение, сорбционные процессы и др. Тем не менее, многие из этих методов характеризуются высокой стоимостью реагентов, сложностью реализации и низкой селективностью к целевым ионам. В связи с этим, разработка нового экономически эффективного подхода, в частности использование интерполимерных систем, представляется перспективным направлением. Проводимые в мире исследования показывают, что ионообменные смолы на основе фосфорных групп (Lewatit VP OC 1026 [1], Purolite MTS9580 [2]) обладают высокой селективностью к ионам скандия и обеспечивают сорбционную емкость до 200 мг/дм³. Кроме того, D2ЕНРА-содержащие смолы (LSC 790) [3] показывают эффективность даже в присутствии конкурирующих ионов, таких как титан и железо, обеспечивая степень очистки до 90 %, что подтверждает важность подбора ионообменных материалов и оптимизации условий сорбции в промышленных процессах. Более того, вышеуказанные исследования показывают, что кинетика процесса сорбции подчиняется псевдовторому порядку, а такие ключевые параметры как кислотность раствора, концентрация конкурирующих ионов и температура, оказывают значительное влияние на эффективность извлечения целевых ионов. В частности, работы по изучению сорбции металлов из промышленных растворов [4-6] показывают, что сорбционные характеристики применяемых смол могут варьироваться в зависимости от условий среды, pH растворов и состав лигандов.

Редкоземельные металлы, в частности скандий и иттрий, играют важную роль во многих областях промышленности и находят применение в аэрокосмической технике, электронике, энергосбережении и др.

Цель исследования – разработка эффективных методов извлечения целевых металлов из растворов различной природы. Одним из перспективных направлений является изучение интерполимерных систем, способных значительно повышать сорбционные характеристики исходных полимеров за счет их взаимной активации эффектом дальнего действия.

Методы исследования. В данном исследовании в качестве сорбционных материалов применялись следующие ионообменные смолы: сильнокислотный катионит КУ-2-8, представляющий собой сульфированный сополимер стирола с 8 % дивинилбензола, и сильноо-

сновный анионит АВ-17-8, сополимер стирола и дивинилбензола с бензилтриметиламмониевыми функциональными группами.

Исследование сорбционных свойств ионитов проводили в растворах нитратов скандия и иттрия, концентрация каждого - 100 мг/л. Для определения неизвестных концентраций целевых ионов скандия и иттрия применялся хромогенный реагент Арсеназо (III) в порошкообразной форме. Приготовление стандартных растворов скандия и иттрия осуществлялось с использованием хлорной кислоты (HClO_4), а для нейтрализации применялся 2%-ный раствор гидроксида натрия (NaOH). В качестве растворителя использовалась дистиллированная вода.

Массу сорбентов измеряли взвешиванием на электронных аналитических весах Shimadzu AY220 (производство Японии). Оптическую плотность приготовленных растворов нитрата скандия и иттрия определяли на спектрофотометре Unico КФК-ЗКМ при длине волны 650 нм с последующим расчетом концентрации ионов скандия и иттрия.

Построение калибровочной кривой. Метод определения ионов скандия и иттрия основан на образовании окрашенного комплексного соединения указанных ионов с органическим аналитическим реагентом Арсеназо III (рисунок 1). Поскольку ионы скандия и иттрия не обладают собственным хромоформирующим эффектом, для получения аналитически значимой формы применялся реагент Арсеназо III, представляющий собой бисазопроизводное хромотропной кислоты [7].



Рисунок 1 – Приготовление растворов скандия с Арсеназо (III) для спектрофотометрического анализа.

Для построения калибровочной кривой (рисунок 2) процесса сорбции скандия были приготовлены исходные растворы гексагидрата нитрата скандия с начальной концентрацией 100 мг/л. Исходный раствор был разбавлен до получения рабочего раствора с концентрацией 20 мг/л, на основе которого были подготовлены пять стандартных растворов, содержащих 1, 2, 3, 4 и 5 мл анализируемого вещества, которые затем переносились в мерные колбы объемом 50 мл. Далее, к каждой пробе приливали 12 мл раствора Арсеназо (0,015 %) и 2 мл раствора хлорной кислоты (0,08 М). Объем растворов доводили дистиллированной водой до метки 50 мл, после чего по прошествии 15 минут начинали спектрофотометрические измерения. Оптическую плотность (D) измеряли для каждого стандартного раствора с использованием спектрофотометра. Полученные результаты использовали для построения калибровочной кривой в координатах «аналитический сигнал (оптическая плотность, D) – концентрация скандия».

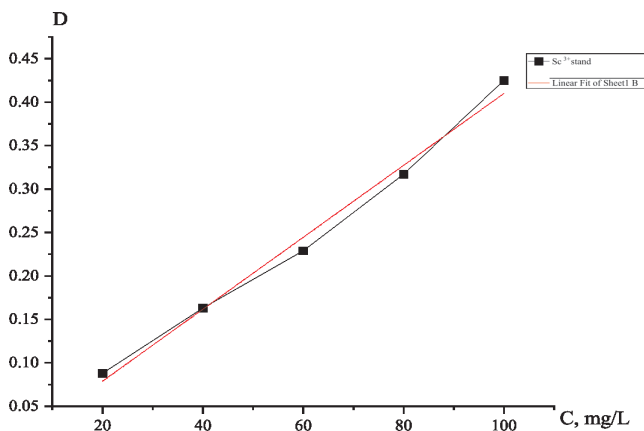


Рисунок 2 – Калибровочная кривая для определения концентрации скандия в растворах сорбции.

Оптическую плотность (D) образовавшегося комплекса ионов скандия в растворах определяли с помощью спектрофотометра Unico КФК-3КМ. Калибровочная кривая была построена с использованием программного обеспечения OriginPro. Для вычисления остаточной концентраций скандия были использованы данные, полученные после построения калибровочной кривой, то есть использовалась формула:

$$C = (D - \text{intercept}) / \text{slope} \quad (1)$$

где C – остаточная концентрация металла после сорбции (мг/л)

D – оптическая плотность металла после сорбции (A)

По рисунку 2 были получены данные по наклону и перехвату графика, которые в дальнейшем использовались как константы, то есть была выявлена формула для расчета остаточной концентрации по формуле (2):

$$C = (D + 0,004) / 0,00414 \quad (2)$$

где C – остаточная концентрация скандия после сорбции (мг/л)

D – оптическая плотность скандия после сорбции (A)

Формула (2) применяется после сорбции скандия для расчета его остаточной концентрации.

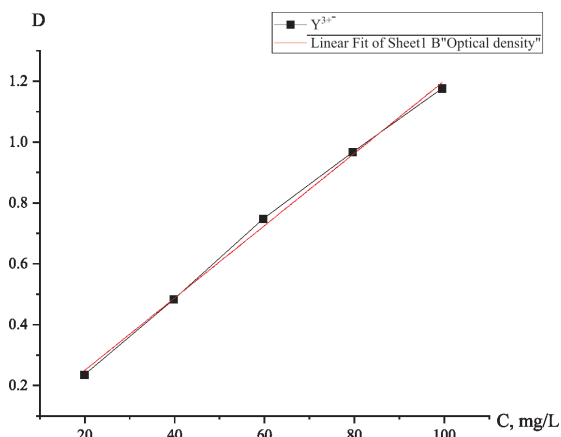


Рисунок 3 – Калибровочная кривая для определения концентрации иттрия в растворах сорбции.

Оптическую плотность (D) образовавшегося комплекса ионов иттрия в растворах определяли также с помощью спектрофотометра Unico КФК-3КМ. Калибровочная кривая была построена с использованием программного обеспечения OriginPro.

Для вычисления формулы остаточной концентрации иттрия были использованы данные, полученные после построения калибровочной кривой для сорбции, то есть использовалась формула (1) и данные по рисунку 2:

$$C = (D - 0,012) / 0,01189 \quad (3)$$

где С – остаточная концентрация иттрия после сорбции (мг/л)

D – оптическая плотность иттрия после сорбции (A)

Формула (3) используется после процесса сорбции иттрия и для расчета остаточной концентрации иттрия после сорбции.

Сорбция ионов скандия. Таблица 1 представляет собой полученные значения оптической плотности скандия после сорбции интерполимерной системой КУ-2-8:АВ-17-8 в зависимости от времени. Данные значения были использованы для расчета остаточной концентрации скандия по формуле (2). Таблица 2 содержит данные о рассчитанной остаточной концентрации скандия после процесса сорбции.

Таблица 1 – Оптическая плотность раствора скандия после сорбции в зависимости от времени

Соотношение	Время, час				
	1	3	6	24	48
	Оптическая плотность				
6:0	0,319	0,328	0,321	0,288	0,220
5:1	0,321	0,324	0,313	0,280	0,220
4:2	0,319	0,327	0,327	0,293	0,237
3:3	0,316	0,326	0,308	0,297	0,254
2:4	0,327	0,330	0,327	0,293	0,258
1:5	0,321	0,323	0,319	0,306	0,275
0:6	0,330	0,322	0,315	0,329	0,283

Таблица 2 – Содержание скандия после сорбции интерполимерной системой КУ-2-8:АВ-17-8 в зависимости от времени

Соотношение	Время, час				
	1	3	6	24	48
	Остаточная концентрация (мг/л)				
6:0	78,02	80,19	78,50	70,53	54,10
5:1	78,50	79,23	76,57	68,59	54,10
4:2	78,02	79,95	79,95	71,73	58,21
3:3	77,29	79,71	75,36	72,70	62,31
2:4	79,95	80,67	79,95	71,73	63,28
1:5	78,50	78,98	78,02	74,87	67,39
0:6	80,67	78,74	77,05	80,43	69,32

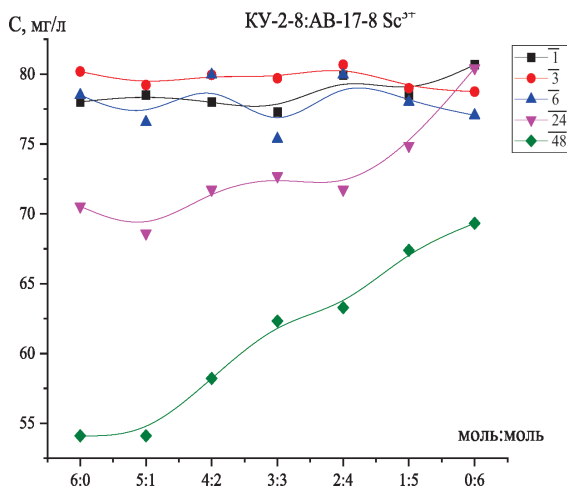


Рисунок 4 – Остаточная концентрация ионов скандия в растворе после сорбции в зависимости от соотношений полимеров.

Как видно на рисунке 4, максимальное содержание ионов скандия после сорбции наблюдается при соотношении 5:1 и длительно-сти взаимодействия 48 ч. При этом содержание скандия в водной среде после сорбции составляет 46,38 мол.%. Из графика видно, что процесс сорбции усиливается со временем, а наибольшая сорбция для каждого временного периода наблюдается при соотношении ио-нообменников 5:1 (83% КУ-2-8 : 17% АВ-17-8). Это свидетельствует о высокой степени ионизации макромолекул в результате взаимной активации ионитов КУ-2-8 и АВ-17-8.

Сорбция смеси скандия и иттрия. Таблица 3 показывает содер-жания смеси скандия и иттрия в водной среде после сорбции интер-полимерной системой КУ-2-8:АВ-17-8 в зависимости от времени. На рисунке 5 максимальное содержание ионов смеси в водной среде после сорбции наблюдается при соотношениях 6:0 и длительно-сти дистанционного взаимодействия 48 ч., а также при соотношении по-лимеров 3:3 (67% КУ 2-8:33% АВ 17-8) процесс сорбции увеличивает-ся при каждой длительности дистанционного взаимодействия.

Таблица 3 – Оптическая плотность смеси скандия и иттрия в водной среде после сорбции интерполимерной системой KU-2-8:AB-17-8 в зависимости от времени

Время, час Соотношение	1	6	24	48
6:0	0,616	0,593	0,508	0,491
5:1	0,632	0,599	0,540	0,510
4:2	0,622	0,614	0,570	0,521
3:3	0,616	0,592	0,560	0,515
2:4	0,622	0,612	0,572	0,565
1:5	0,622	0,613	0,590	0,586
0:6	0,583	0,634	0,603	0,594

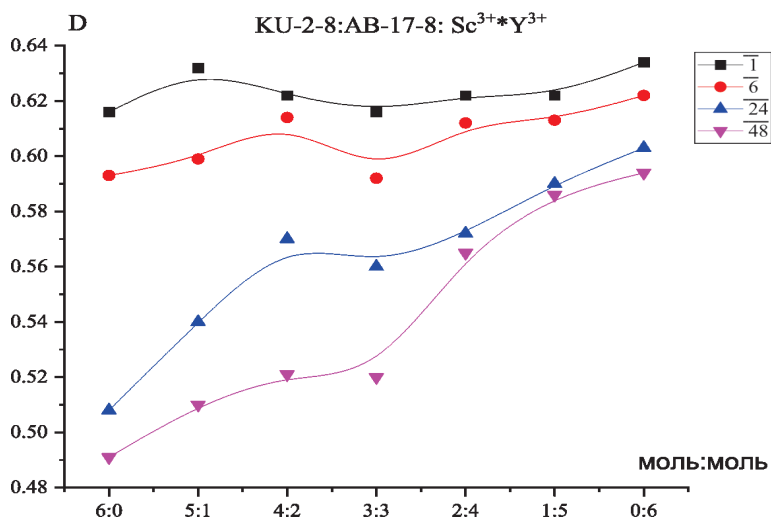


Рисунок 5 – Остаточная концентрация ионов смеси скандия и иттрия в растворе после сорбции в зависимости от соотношений полимеров.

Полученные результаты указывают на возможность создания эффективной сорбционной технологии извлечения ионов скандия и иттрия и их смеси интерполимерными системами на основе промышленно выпускаемых ионитов.

Инфракрасная спектроскопия. Анализы ИК спектроскопии были проведены на исходные ионообменники и на ионообменники, которые прошли процесс сорбции металлов и их смеси.

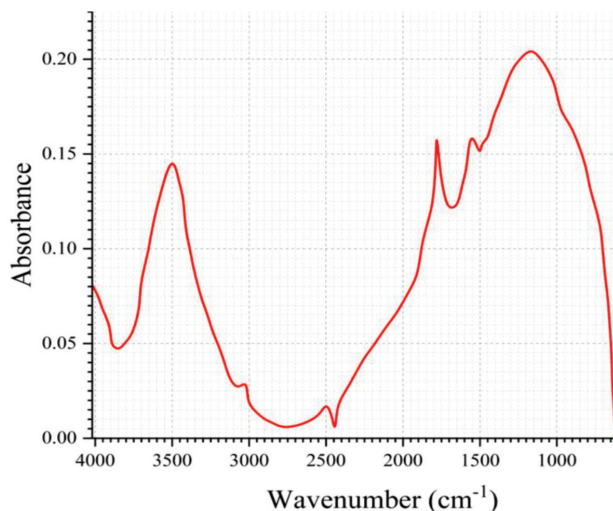


Рисунок 6 – Спектр исходного катионита КУ-2-8.

Рисунок 6 представляет собой эталонное состояние КУ-2-8. ИК-спектр исходного катионита КУ-2-8 демонстрирует несколько характерных полос поглощения, отражающих его химическую структуру. Широкая полоса в области $3500\text{--}3200\text{ см}^{-1}$ соответствует валентным колебаниям —OH групп, связанных как с молекулами воды, так и с сульфогруппами ($\text{—SO}_3\text{H}$). В диапазоне $1700\text{--}1600\text{ см}^{-1}$ наблюдаются колебания карбоксильных групп (—COO^-) или функциональных групп, взаимодействующих с водой. Деформационные колебания CH_2 -групп полимерной матрицы проявляются в области $1450\text{--}1400\text{ см}^{-1}$, а валентные колебания связи S=O , характерные для сульфогрупп ($\text{—SO}_3\text{H}$), фиксируются в диапазоне $1200\text{--}1100\text{ см}^{-1}$. В общем, данный спектр отражает структурные особенности катионита КУ-2-8 в его исходном состоянии до взаимодействия с ионами металлов.

Рисунок 7 демонстрирует анализ ИК-спектра катионита после сорбции скандия при соотношении 5:1. Широкая полоса $3500\text{--}3200\text{ см}^{-1}$ — соответствует валентным колебаниям —OH групп, связанных с во-

дой и сульфо- группами ($-\text{SO}_3\text{H}$). $1700\text{--}1600\text{ см}^{-1}$ – колебания карбоксильных ($-\text{COO}^-$) или связанных с водой функциональных групп. $1450\text{--}1400\text{ см}^{-1}$ – деформационные колебания CH_2 -групп полимерной матрицы. $1200\text{--}1100\text{ см}^{-1}$ – валентные колебания $\text{S}=\text{O}$ (характерные для сульфогрупп).

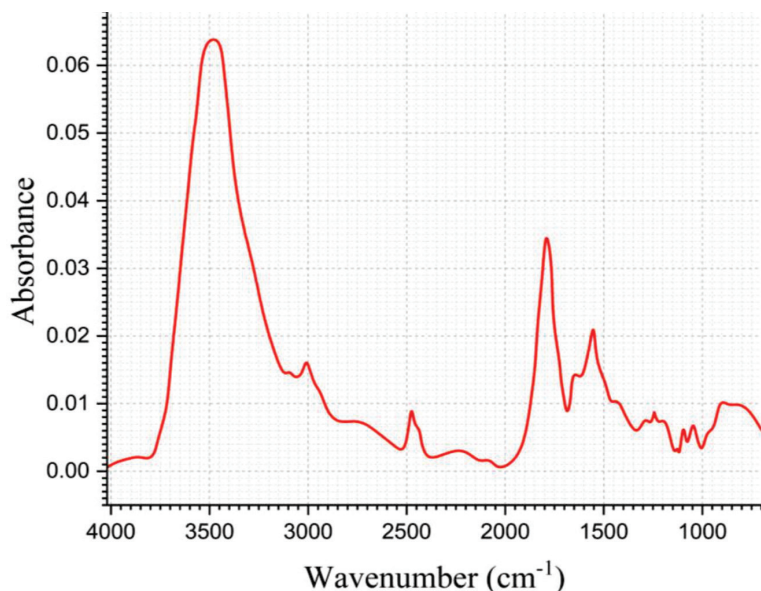


Рисунок 7 – Спектр катионита КУ-2-8 после сорбции скандия.

На рисунке 7 можем наблюдать изменения полос поглощения. Полосы $3500\text{--}3200\text{ см}^{-1}$ характеризуют ослабление интенсивности, сужение полосы O-H ($\sim 3400\text{ см}^{-1}$), что может свидетельствовать о взаимодействии скандия с сульфогруппами и снижении количества свободных гидроксильных групп. $1700\text{--}1600\text{ см}^{-1}$ – усиление полосы ($\sim 1620\text{ см}^{-1}$) может быть связано с гидратированными комплексами скандия. $1200\text{--}1100\text{ см}^{-1}$ – смещение полосы $\text{S}=\text{O}$ ($\sim 1150\text{ см}^{-1}$) вниз может указывать на координацию скандия с сульфогруппами.

Рисунок 8 показывает анализ ИК-спектра катионита КУ-2-8 после сорбции иттрия при соотношении КУ-2-8:АВ-17-8 (4:2).

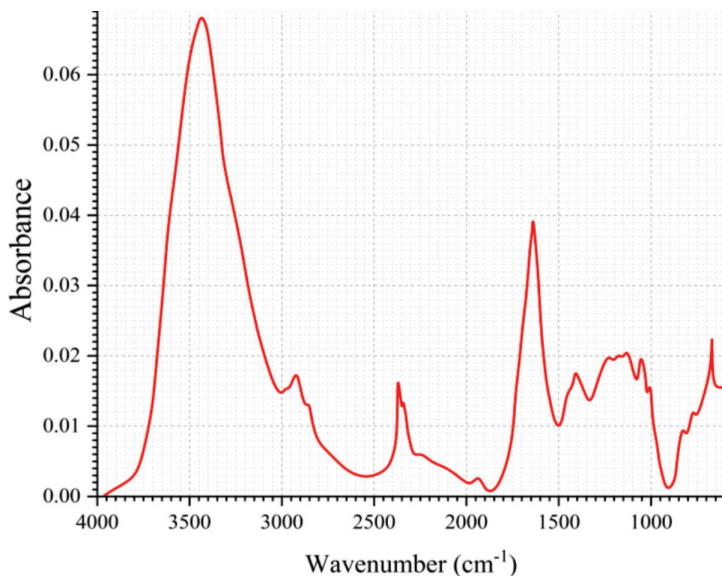


Рисунок 8 – Спектр катионита КУ-2-8 после сорбции иттрия.

На рисунке 8 можем наблюдать изменения полос поглощения. 3500–3200 cm^{-1} – уменьшение интенсивности ($\sim 3350 \text{ cm}^{-1}$) может подтверждает участие гидроксильных групп в координации иттрия. Усиление полосы ($\sim 1620 \text{ cm}^{-1}$) может характеризовать гидратированные комплексы Y^{3+} . 1200–1100 cm^{-1} , где полоса S=O смещается ($\sim 1120 \text{ cm}^{-1}$), может указывать на более прочное взаимодействие иттрия с сульфогруппами по сравнению со скандием.

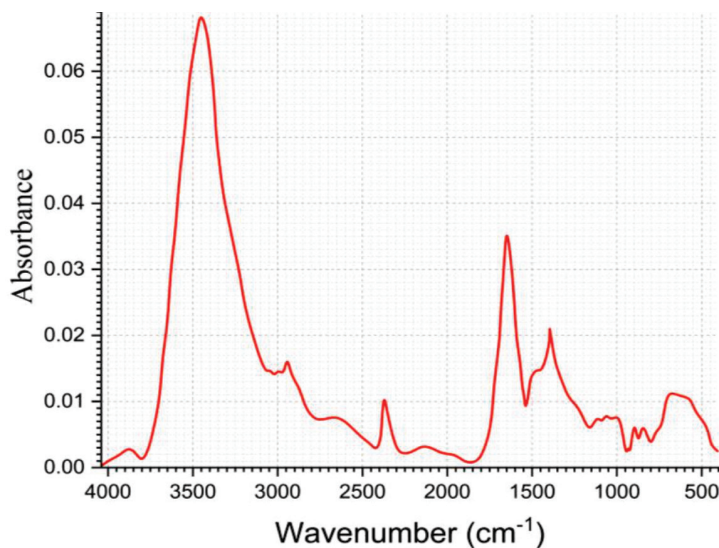


Рисунок 9 – Спектр исходного анионита АВ-17-8.

На рисунке 9 приведен спектр исходного анионита АВ-17-8. Основные полосы поглощения: 3500–3300 см⁻¹ – валентные колебания N-H (аминогруппы). 1650–1600 см⁻¹ – деформационные колебания N-H. 1500–1400 см⁻¹ – колебания C-N (в структуре четвертичного аммония). 1250–1100 см⁻¹ – валентные колебания C-N⁺ (четвертичного аммония).

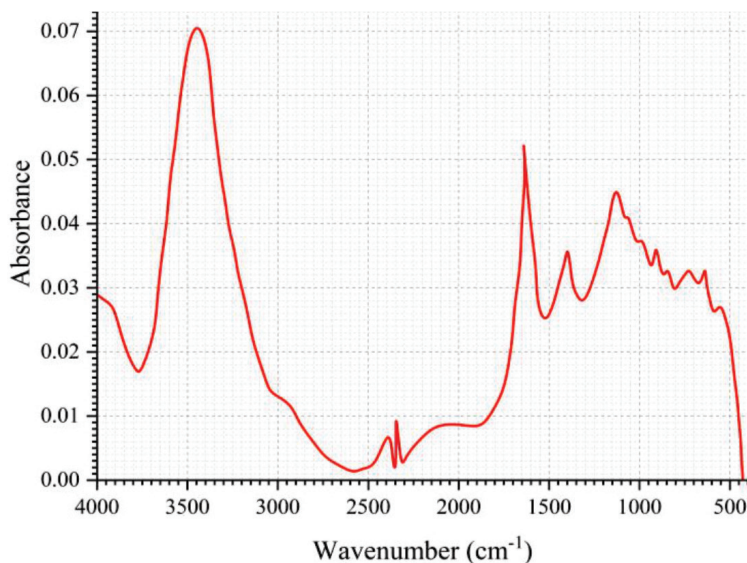


Рисунок 10 – Спектр анионита АВ-17-8 после сорбции скандия.

На рисунке 10 можем наблюдать изменения полос поглощения по сравнению с ИК спектром исходного анионита. Полоса N-H ($\sim 3400 \text{ cm}^{-1}$) становится уже и смещается в низкочастотную область, что может свидетельствовать о координации скандия с аминогруппами. Усиление полосы ($\sim 1615 \text{ cm}^{-1}$) может свидетельствовать о взаимодействии N-H с катионом Sc^{3+} . Смещение полосы C-N⁺ ($\sim 1180 \text{ cm}^{-1}$) может указывать на координацию скандия с четвертичными аммонийными группами.

Рисунок 11 показывает анализ ИК спектра анионита после сорбции иттрия при соотношениях 4:2.

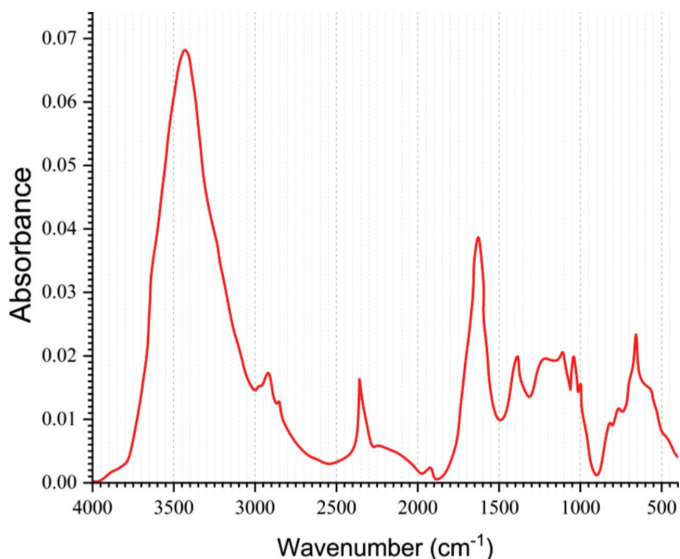


Рисунок 11 – ИК спектр анионита АВ-17-8 после сорбции иттрия.

На рисунке 11 можем наблюдать изменения полос поглощения по сравнению с ИК спектром исходного анионита. Дальнейшее уменьшение интенсивности полосы N-H ($\sim 3350\text{ см}^{-1}$) может подтверждать координацию иттрия с аминогруппами. Усиление полосы ($\sim 1620\text{ см}^{-1}$) может свидетельствовать о более сильном взаимодействии иттрия с функциональными группами. Полоса C-N⁺ смещается ниже ($\sim 1160\text{ см}^{-1}$), что может указывать на прочное связывание иттрия с аммонийными группами.

Результаты и обсуждение. Экспериментальные результаты показывают, что при соотношениях КУ-2-8 и АВ-17-8 (5:1) достигается максимальная степень сорбции скандия. Введение анионита в систему приводит к изменению конформации ионообменников, увеличивая их ионизацию и, как следствие, сорбционные свойства. Согласно анализам инфракрасной спектроскопии образцов ионитов, сорбция скандия и иттрия подтверждается значительными изменениями в области $1200\text{--}1100\text{ см}^{-1}$ (S=O) для катионита и $1250\text{--}1100\text{ см}^{-1}$ (C-N⁺) для анионита. Иттрий оказывает более сильное влияние на функциональные группы по сравнению со скандием, что подтверждается большим сдвигом частот поглощения. Увеличение времени взаимодействия

катионита КУ-2-8 и анионита АВ-17-8 приводит к усилению эффекта дальнего действия, что выражается в увеличении сорбционной активности системы. Проведенный анализ показывает, что наибольшее изменение сорбционных свойств наблюдается в первые 24 ч. процесса сорбции, после чего процесс стабилизируется. Максимальное снижение концентрации скандия в растворе зафиксировано при соотношении 5:1 и составляет 54,10 мг/л через 48 ч. взаимодействия, тогда как минимальное остаточное содержание ионов иттрия после сорбции в исследуемом растворе (32,18 мг/л) наблюдается при соотношениях ионитов 4:2 и времени взаимодействия 48 ч.

Вывод. Полученные результаты демонстрируют, что интерполимерные системы на основе ионообменных смол КУ-2-8 и АВ-17-8 обладают высокой эффективностью в процессах извлечения скандия и иттрия. Экспериментально установлено, что максимальная степень извлечения скандия достигается при соотношении КУ-2-8:АВ-17-8 равном 5:1, что приводит к снижению остаточной концентрации скандия в растворе с 100 мг/л до 54,10 мг/л после 48 ч. взаимодействия. В случае иттрия, наименьшая остаточная концентрация в растворе (32,18 мг/л) наблюдается при соотношении ионитов 4:2 и времени контакта 48 ч. Полученные данные указывают на перспективность использования данного метода в гидрометаллургии и системах очистки промышленных растворов. Дальнейшие исследования в данном направлении могут быть сосредоточены на разработке новых модификаций интерполимерных систем, обеспечивающих селективное извлечение редкоземельных металлов из сложных многокомпонентных растворов.

Список литературы / References

- 1 Mostajeran M., Bondy J.-M., Reynier N., Cameron R. Mining value from waste: Scandium and rare earth elements selective recovery from coal fly ash leach solutions // *Minerals Engineering*, 2021, V. 173. – P. 107091.
- 2 Yessimkanova U., Mataev M., Alekhina M., Kopbaeva M., Berezovskiy A., et al. The study of the kinetic characteristics of sorption of scandium of ion exchanger Purolite MTS9580 from return circulating solutions of underground leaching of uranium ores // *Eurasian Chemico-Technological Journal*, Vol. 22, № 2. – P. 135–140.
- 3 Toli A., Mikeli E., Marinos D., Balomenos E., Pnias D. Assessing the efficiency of ion exchange resins for the recovery of scandium from sulfuric acid leaching solutions // *Separations*, 2023, Vol. 10, № 7. – P. 366-382.

4 Hajmohammadi H., Jafari A.H., Nasab M.E. Scandium recovery from raffinate copper leach solution as potential new source with ion exchange method // Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 2020, Vol. 30, № 11. – P. 3103–3113.

5 Sharaf M., Yoshida W., Kubota F., Goto M. A Novel Binary-Extractant-Impregnated Resin for Selective Recovery of Scandium // Journal of Chemical Engineering of Japan, 2019, Vol. 52, № 1. – P. 49-55.

6 Watanabe H., Asano S., Murase K. Kinetics study of adsorption behaviors of trivalent metal ions onto chelating resin: Comparison between scandium (III) and other metal ions // Materials Transactions, 2023.

7 Grudpan K., Praditweangkum W., Sooksamiti P., Edwards R. Flow-injection spectrophotometric determination of yttrium with Arsenazo III // Laboratory Robotics and Automation, 1999, Vol. 11, № 5. – P. 279-283.

**Джумадилов Т.К.¹, Тасибеков Х.С.¹, Химэрсэн Х.¹, Қабидолла Д.А.²,
Жақсылықова Д.Р.²**

¹Ә.Б. Бектұров атындағы Химия ғылымдары институты, Алматы қ.,
Қазақстан.

² Қазақстан-Британ техникалық университеті Алматы қ., Қазақстан.

**СКАНДИЙ МЕН ИТРИЙ ИОНДАРЫНА ҚАТЫСТЫ «КУ-2-8@АВ-17-8»
(Х:Ү) ИНТЕРПОЛИМЕРЛІК ЖҮЙЕСІНІҢ СОРБЦИЯЛЫҚ БЕЛСЕНДІЛІГІНЕ
ӨНЕРКӘСІПТІК ИОНИТТЕРДІҢ ҚАШЫҚТЫҚТАН ӘРЕКЕТТЕСУ
ЭФФЕКТИСІНІҢ ӘСЕРІ.**

Түйіндеме. Бұл жұмыс Х:Ү ионогендік топтарының қатынасы бар “КУ-2-8:АВ-17-8” (Х:Ү) интерполимерлік жүйесіндегі КУ-2-8 (катионит) және АВ-17-8 (анионит) өнеркәсіптік ион алмасу шайырларының скандий және иттрий иондары сорбциясына ұзақ мерзімді әсерін зерттеуге арналған. Иониттердің қашықтықтан өзара әрекеттесуі және өзара активтенуі арқылы интерполимер жүйесінің сорбциялық қасиеттері едәуір артатыны анықталды. Жұмыста скандий мен иттрий иондарын неғұрлым көбірек алу үшін жүйе компоненттерінің оңтайлы арақатынасы анықталды. КУ-2-8:АВ-17-8 ион алмасу шайырларының қатынасы 5:1 болғанда, ерітіндідегі скандийдің қалдық концентрациясы 48 сағаттық өзара әрекеттесуден кейін 100,00 мг/л-ден 54,10 мг/л-ге дейін төмендейтіні тәжірибелік тұрғыда көрсетілді. Ал, КУ-2-8:АВ-17-8 иониттерінің арақатынасы 4:2 болғанда, зерттелетін ерітіндідегі сорбциядан кейінгі иттрий иондарының ең аз қалдық мөлшері 48 сағаттық өзара әрекеттесуден кейін 100,00 мг/л-ден 32,18 мг/л-ге дейін өзгереді. Алынған нәтижелер гидрометаллургия мен өнеркәсіптік ерітінділерді қайта өңдеу технологиясында жаңа мүмкіндіктер ашатын сирек жер металдарын алу тиімділігін арттыру үшін интерполимерлік жүйелерді қолданудың перспективасын көрсетеді.

Түйінді сөздер: сорбция, скандий, ион алмасу шайырлары, интерполимер жүйесі, гидрометаллургия.

* * *

Jumadilov T.K.¹, Tassibekov Kh.S.¹, Khimersen Kh.¹, Kabidolla D.A.², Zhaxlykova D.R.²

¹ Bekturov Institute of Chemical Sciences, Almaty c., Kazakhstan

² Kazakh-British Technical University JSC, Almaty c., Kazakhstan

THE IMPACT OF THE LONG-RANGE EFFECT OF INDUSTRIAL IONITES ON THE SORPTION ACTIVITY OF THE KU-2-8@AB-17-8 INTERPOLYMER SYSTEM (X:Y) CONCERNING SCANDIUM AND YTTRIUM IONS.

Abstract. This study focuses on the long-range effects of industrial ion exchange resins KU-2-8 (cationite) and AV-17-8 (anionite) within the interpolymer system “KU-2-8:AV-17-8” (X:Y), specifically examining the ratio of ionogenic groups X:Y for the sorption of scandium and yttrium ions. It has been established that the remote interactions and mutual activation of the ionites significantly enhance the sorption properties of the interpolymer system. The optimal ratios of the system components for maximum extraction of scandium and yttrium ions have been identified. Experimental results indicate that when the ratio of ion exchange resins KU-2-8 to AV-17-8 is 5:1, the residual concentration of scandium in the solution decreases from 100.00 mg/L to 54.10 mg/L after 48 hours of interaction. In contrast, with a KU-2-8 to AV-17-8 ionite ratio of 4:2, the minimum residual concentration of yttrium ions in the test solution decreases from 100.00 mg/L to 32.18 mg/L after 48 hours of interaction. The findings demonstrate the potential of using interpolymer systems to enhance the efficiency of rare earth metal extraction, thereby opening new avenues in hydrometallurgy and industrial solution processing technologies.

Keywords: sorption, scandium, ion exchange resins, interpolymer system, hydrometallurgy.

Авторлар туралы мәліметтер

Джумадилов Талкыбек Кожатаевич – химия ғылымдарының докторы, профессор, Ә.Б. Бектұров атындағы Химия ғылымдары Институтындағы полимерлер синтезі және физикохимиясы зертханасының меңгерушісі, Алматы қ., Қазақстан, jumadilov_tk@mail.ru

Тасибеков Хайдар Сулейманович – химия ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, Ә.Б. Бектұров атындағы химия ғылымдары Институттың бас директоры, Алматы қ., Қазақстан, kh.tassibekov@ihn.kz

Химэрсэн Хуангул – PhD докторы, Ә.Б. Бектұров атындағы химия ғылымдары Институттағы полимерлердің синтезі және физикохимиясы зертханасының ғылыми қызметкері, Алматы қ., Қазақстан, huana88@mail.ru

Қабидолла Диана Арыстанқызы – Химиялық инженерия мектебінің бакалавры, «Қазақстан-Британ техникалық университеті» АҚ, Алматы қ., Қазақстан, lsfcpr@mail.ru

Жақсылықова Диана Рустамовна – Химиялық инженерия мектебінің бакалавры, «Қазақстан-Британ техникалық университеті» АҚ, Алматы қ., Қазақстан, zhaxlykova.dana@mail.ru

Сведения об авторах

Джумадилов Талкыбек Кожатаевич – доктор химических наук, профессор, заведующий лабораторией синтеза и физикохимии полимеров АО «Институт химических наук им. А.Б. Бектурова», г. Алматы, Казахстан, jumadilov_tk@mail.ru

Тасибеков Хайдар Сулейманович – кандидат химических наук, ассоциированный профессор, генеральный директор АО «Институт химических наук им. А.Б. Бектурова», г. Алматы, Казахстан, kh.tassibekov@ihn.kz

Химэрсэн Хуангул – PhD, научный сотрудник лаборатории синтеза и физикохимии полимеров АО «Институт химических наук им. А.Б. Бектурова», г. Алматы, Казахстан, huana88@mail.ru

Қабидолла Диана Арыстанқызы – бакалавр наук, Школа химической инженерии, АО «Казахстанско-Бритнский технический университет», г. Алматы, Казахстан, lsfcpr@mail.ru

Жаксылыкова Диана Рустамовна – бакалавр наук, Школа химической инженерии, АО «Казахстанско-Бритнский технический университет», г. Алматы, Казахстан, zhaxlykova.dana@mail.ru

Information about the authors

Jumadilov Talkybek Kozhataevich – Doctor of Chemical Sciences, Professor, Head of the Laboratory of Synthesis and Physico-Chemistry of Polymers, Bekturov Institute of Chemical Sciences, Almaty, Kazakhstan, jumadilov_tk@mail.ru

Tassibekov Khaidar Suleimanovich – Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor, General Director of the Bekturov Institute of Chemical Sciences, Almaty c., Kazakhstan, kh.tassibekov@ihn.kz

Khimersen Khuangul – PhD, researcher at the Laboratory of Synthesis and Physico-Chemistry of Polymers, Bekturov Institute of Chemical Sciences, Almaty c., Kazakhstan, huana88@mail.ru

Kabidolla Diana Arystankyzy – Bachelor of Science, School of Chemical Engineering, Kazakh-British Technical University JSC, Almaty c., Kazakhstan, lsfcpr@mail.ru

Zhaxlykova Diana Rustamovna – Bachelor of Science, School of Chemical Engineering, Kazakh-British Technical University JSC, Almaty c., Kazakhstan, zhaxlykova.dana@mail.ru

ПИЩЕВАЯ И ПЕРЕРАБАТЫВАЮЩАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

MFTAP 65.63.03
https://doi.org/10.53939/1560-5655_2025_2_57

Болат Ж.М.¹, Ахметсадыкова Ш.Н.¹

¹Алматы технологиялық университеті, Алматы қ., Қазақстан

ТҮЙЕ СҮТІН АШЫТУ ПРОЦЕСІНІҢ МАҢЫЗДЫЛЫҒЫ МЕН ОНЫҢ АДАМ АҒЗАСЫНА ТИГІЗЕТІН ӘСЕРІ

Түйіндеме. Бұл мақалада түйе сүтін ашыту процесінің маңыздылығы мен оның адам ағзасына тигізетін әсері қарастырылады. Ашыту процесі биологиялық белсенді заттардың түзілуін қамтамасыз етіп, дайын өнімнің сапасын арттырады, сол арқылы оның табиғи құндылығын жоғарылатады. Мақалада түйе сүтінің ерекше құрамы мен оның ашыту барысында пайда болатын пайдалы қасиеттері, сондай-ақ шұбаттың тағамдық және емдік әсері көрсетіледі. Түйе сүті асқазан-ішек жолдарын жақсартып, иммунитетті нығайтады, токсиндерден тазартуға көмектеседі және көптеген пайдалы микроэлементтер мен пробиотиктерді қамтиды. Түйе сүтін ашыту процесі арқылы шұбат өнімінің биологиялық құндылығы артады, оның құрамында органикалық қышқылдар, ферменттер және антиоксиданттар түзілетіндіктен, бұл сусын ағза үшін пайдалы болып табылады.

Түйінді сөздер: түйе сүті, шұбат, ашыту процесі, сүтқышқылды бактериялар, ферментация.

Кіріспе. Қазіргі таңда көптеген тағам технологияларының мәселелері ашыту процестерімен тығыз байланысты. Ашыту процестерінің жетілуі дайын өнімдердің сапасына айтарлықтай әсер етеді, өйткені ол барлық биологиялық жүйелердің тіршілік әрекеті үшін маңызды рөл атқарады және тағам өнімдерінің табиғи құндылығын арттыруға ықпал етеді. Осы себепті тағам өнімдерінің ашыту мүмкіндігі туралы мәліметтер аса маңызды.

Ашытылған өнімдер адам ағзасындағы биологиялық процестерді реттейтін биологиялық белсенді заттарға бай, сондықтан олардың биологиялық маңызы зор. Әртүрлі ашыту мәдениеттері бар шикізаттар биологиялық тұрғыдан қауіпсіз жағдайда ашыту процесін жүргізуге мүмкіндік береді, бұл оларды адам тұтынуына жарамды етеді [1].

Түйе сүті – ерекше тағамдық құндылығы бар аса маңызды азық-түлік өнімі және адам ағзасы үшін қажетті қоректік заттардың табиғи көзі болып табылады. Әсіресе, шөлді және құрғақ климаттық аймақтарда өмір сүретін халықтардың күнделікті тұрмысында бұл өнімнің

орны ерекше. Өйткені түйе сүтінен дайындалатын әртүрлі тағамдық өнімдер тек осы өңірлерде өмір сүретін тұрғындар үшін ғана емес, сондай-ақ басқа да өңірлерде кеңінен пайдаланылады және адам ағзасына сергектік пен күш-қуат береді.

Түйелердің басқа үй жануарларына қарағанда азықтану мен сүт өндіру ерекшеліктері айрықша болып келеді. Олар салыстырмалы түрде азықтың көп мөлшерін қажет етпей-ақ, пайдалы қоректік заттарды барынша тиімді түрде игеріп, жоғары сапалы сүт өндіре алады. Түйе сүтін өңдеудің маңызды кезеңдерінің бірі – ашыту процесі, бұл процесс арнайы эндогенді ферменттердің әсерінен жүзеге асады және оның нәтижесінде адам денсаулығына пайдалы ашытылған сүт өнімдері алынады [2].

Сүт – адамзаттың денсаулығы үшін өте маңызды табиғи өнім болып саналады. Көптеген халықтар сүтті тек жаңа күйінде ғана емес, ашытылған күйде де тұтынады. Әсіресе, Еуразия кеңістігін мекендейтін көшпелі халықтар арасында ашытылған түйе сүті – шұбат кеңінен таралған. Шұбат өзінің бірегей химиялық құрамымен ерекшеленеді, оның құрамында ағзаға қажетті көптеген дәрумендер, минералды микроэлементтер, лактрофлавин және пробиотиктер молынан кездеседі. Осы себепті шұбат диеталық өнім ретінде жоғары бағаланады және адамның дұрыс тамақтану рационында маңызды рөл атқарады.

Шұбат өндірісінде ешқандай өсімдік тектес қоспалар қолданылмайды, ол тек таза түйе сүтінен дайындалады. Бұл сусын табиғи түрде ашытылған, сүт қышқылды бактериялардың әсерінен ерекше қышқыл дәмге ие болатын қою консистенциялы өнім болып табылады. Оның адам ағзасына тигізетін пайдалы әсері зор: шұбат ас қорыту жүйесін жақсартады, ағзаны токсиндерден тазартады, иммунитетті нығайтады, сондай-ақ антисептикалық және жалпы сергітуші қасиеттерге ие.

Нәтижелер және талқылау. Шұбатты дайындау процесі бірнеше кезеңнен тұрады. Ең алдымен, жаңа сауылған түйе сүті арнайы ауа өткізбейтін ыдыстарға немесе дәстүрлі түрде қолданылатын, түйе қарнынан жасалған тері қапшықтарға құйылады. Сүт жақсылап араластырылып, беті мата немесе пластикалық қақпақпен жабылады. Кейіннен оны сүзуге мүмкіндік беру үшін ыдыс арнайы жағдайда сақталады. Ашытудың оңтайлы температурасы шамамен 20–22°C аралығында болуы керек. Шұбат қараңғы жерде 24-27 сағат бойы ашытылып, бактериялардың табиғи жолмен көбеюіне жағдай жасалады. Бұл процесс әртүрлі факторлардың әсеріне байланысты баяу немесе жылдам жүруі мүмкін [3].

Ашытудың бастапқы кезеңінде сүт қышқылды бактериялардың концентрациясын арттыру мақсатында арнайы ашытқы қосылуы мүмкін. Сонымен қатар, әртүрлі рН деңгейлерін қолдану арқылы ашыту процесін жылдамдатуға мүмкіндік бар. Нәтижесінде, дайын шұбат өзінің жоғары биологиялық құндылығымен ерекшеленеді және адам ағзасына қажетті көптеген пайдалы элементтерді қамтитын табиғи өнім ретінде халық арасында кеңінен қолданылады.

Түйе сүті – Қазақстан мен Орталық Азияның кең аумағында жоғары бағаланатын табиғи өнімдердің бірі. Оның құрамында адам ағзасына пайдалы көптеген қоректік заттар мен биологиялық белсенді компоненттер кездеседі. Түйе сүтінің басты ерекшеліктерінің бірі – оның ақуыз мөлшерінің жоғары болуы, дәрумендерге (әсіресе С және В тобы) және минералдарға байлығы, сондай-ақ асқазан-ішек жолдарының қызметіне оң әсер етуі. Сонымен қатар, түйе сүті гипоаллергенді қасиетке ие, сондықтан лактозаға төзімсіз адамдар үшін де қауіпсіз әрі қолайлы өнім болып табылады [4].

Шұбат – түйе сүтін ашыту арқылы алынатын дәстүрлі ұлттық сусын, оның ерекше дәмі мен емдік қасиеттері жоғары бағаланады. Ашыту процесі барысында пайда болатын пайдалы бактериялар мен ашытқылар шұбаттың биологиялық құндылығын арттырып, ас қорыту жүйесінің қызметін жақсартыады. Сонымен қатар, бұл сусын ағзаны зиянды токсиндерден тазартуға, иммундық жүйені нығайтуға және жүрек-қан тамырлары ауруларының алдын алуға көмектеседі.

Зерттеудің мақсаты. Түйе сүтінің ашыту процесінің ерекшеліктерін, оның барысында түзілетін пайдалы микроорганизмдер мен биологиялық белсенді заттардың адам ағзасына тигізетін әсерін ғылыми тұрғыдан негіздеу. Сонымен қатар, шұбат өнімінің тағамдық және емдік қасиеттерін сипаттап, оның пробиотикалық және функционалдық әлеуетін бағалау.

Материалдар мен зерттеу әдістері. Зерттеу нысаны: Жаңа сауылған түйе сүті және одан дәстүрлі әдіспен дайындалған шұбат.

Материалдар:

Түйе сүті (жергілікті шаруашылықтардан алынған);

Дәстүрлі ферментация ыдыстары (тері қап, шыны банкалар);

Ашытқы мәдениеттері: табиғи сүтқышқылды бактериялар (*Lactobacillus plantarum*, *L. acidophilus*, *Bifidobacterium* spp.), ашытқылар (*Saccharomyces cerevisiae*);

Зертханалық құралдар (рН-метр, термометр, тығыздық өлшегіштер және т.б.).

Әдістер:

Органолептикалық бағалау – дайын шұбаттың дәмі, иісі, түсі мен консистенциясы тексерілді;

Ферментация процесін бақылау – температуралық режим (20–22°C) және ашыту уақыты (24–48 сағат) бойынша жүргізілді.

Түйе сүті мен шұбаттың негізгі ерекшеліктері:

- Құрамы ерекше пайдалы заттарға бай: Түйе сүтінің құрамында қабынуға қарсы және иммундық жүйені нығайтатын лактоферрин, иммуноглобулин, лизоцим секілді маңызды ақуыздар бар.

- Жоғары энергетикалық құндылық: Түйе сүті мен одан дайындалған шұбат шөлді және құрғақ аймақтарда өмір сүретін халықтар үшін негізгі қоректік және қуаттандыратын азық көзі болып табылады.

- Емдік қасиеттері: Шұбат химиялық терапиядан кейін ағзаның қалпына келуіне, асқазан-ішек жолдарының ауруларын емдеуге және жалпы денсаулықты нығайтуға көмектеседі.

- Дәстүрлі дайындау әдістері: Шұбат арнайы ашытуға арналған ыдыстарда немесе дәстүрлі теріден жасалған қаптарда ашытылады, бұл оның ерекше дәмі мен консистенциясын қалыптастырады.

Осылайша, түйе сүті мен шұбат – тек дәстүрлі тағам ғана емес, сонымен қатар адам денсаулығына пайдалы, құнды биологиялық қасиеттерге ие табиғи өнімдер.

Шұбат соңғы уақытта Қазақстанда және бүкіл әлемде денсаулыққа пайдалы өнім ретінде кеңінен танымал болуда. Зерттеулердің нәтижелері көрсеткендей, шұбатта кездесетін пайдалы микроорганизмдер оның ұзақ уақыт бойы сақталуын қамтамасыз етіп, тағамдық құндылығын арттырады. Бұл өнім ауыл шаруашылығының дамуына және жергілікті экономиканы нығайтуға маңызды үлес қосады [5].

Түйе сүті өзінің ерекше химиялық құрамы мен жоғары тағамдық құндылығымен ерекшеленеді. Оның негізгі компоненттеріне мыналар жатады (1-сурет):

- Ақуыздар: Түйе сүтінде казеин мен сарысу ақуыздары үлкен мөлшерде болады. Олардың арасында иммундық жүйені қолдайтын және қабынуға қарсы әсер ететін иммуноглобулин, лактоферрин, лизоцим тәрізді ақуыздар бар.

- Майлар: Сүттегі май мөлшері шамамен 3-5%-ды құрайды, оның құрамындағы май қышқылдары, әсіресе линол қышқылы пайдалы липидтер ретінде бағаланады.

- Кемірсулар: Лактоза мөлшері сиыр сүтімен салыстырғанда әлдеқайда аз, бұл лактозаға төзімсіз адамдар үшін қолайлы.

• Витаминдер: Түйе сүті С витаминіне өте бай, оның мөлшері сиыр сүтімен салыстырғанда шамамен үш есе көп. Сонымен қатар, В тобының витаминдері (В1, В2) және А витамині де бар.

• Минералдар: Сүттің құрамында калий, магний, темір және мырыш сияқты маңызды минералдар бар, олар организмнің күнделікті қажеттілігін қамтамасыз етеді [6].

р/с	Құрамы	Түйенің сүті	Шұбаты
1	Қышқылдық	18%	28%
2	Майлық	4,3	4,3
3	Лактоза	2,75	1,32
4	Құрғақ затты майдан басқа	8,2	6,6
5	Минералды заттар	0,86	0,75
6	Этил спирті	-	1,1

1-сурет – Түйе сүтінің химиялық құрамы

Шұбат түйе сүтін ашыту арқылы дайындалғандықтан, оның тағамдық құрамы мен пайдалы қасиеттері одан әрі артады:

✓ Пробиотиктер: Ашытылған шұбатта сүтқышқылды бактериялар (лакто- және бифидобактериялар) көп мөлшерде болады, олар ішек микрофлорасын жақсартып, ас қорыту жүйесінің жұмысын қалпына келтіреді.

✓ Витаминдер: Шұбатта С витамині мен В тобының витаминдерінің концентрациясы жоғары, бұл денсаулыққа өте пайдалы.

✓ Биологиялық белсенді заттар: Ашытылу процесінде органикалық қышқылдар, ферменттер және антиоксиданттар түзіледі, олар метаболизмді жақсартып отырып, ағзадағы токсиндерді шығаруға көмектеседі.

✓ Ас қорытуға пайдалы: Шұбаттың құрамындағы пайдалы бактериялар ас қорыту процесін жақсартып, иммундық жүйені нығайтуға ықпал етеді [7].

Түйе сүті – жоғары биологиялық және тағамдық құндылығы бар табиғи өнім. Оның ашыту мүмкіндігі дәстүрлі және заманауи тағам өндірісінде маңызды рөл атқарады. Ашыту арқылы түйе сүтінің құрамындағы пайдалы микроэлементтер мен биологиялық белсенді заттардың деңгейі артады, бұл оны адамның денсаулығына пайдалы

өнімге айналдырады. Ашыту нәтижесінде түйе сүтінен алынатын шұбат пробиотиктерге бай, ас қорыту жүйесін жақсартатын және имунитетті қолдайтын сусынға айналады.

Ашыту процесінде сүтқышқыл бактериялары мен ферменттердің белсенділігі маңызды рөл атқарады. Бұл бактериялар органикалық қышқылдарды (әсіресе сүт қышқылын) түзеді, нәтижесінде өнімнің дәмі, иісі және консистенциясы жақсарады [8].

Ашыту мүмкіндігіне әсер ететін факторлар

Түйе сүтінің ашыту мүмкіндігіне әсер ететін бірнеше негізгі факторлар бар:

➤ Сүттің құрамы

Түйе сүтінде лактоза деңгейі төмен, бұл ашыту процесінің жылдамдығына әсер етеді. Сүттің құрамындағы ақуыздар мен минералдар микроорганизмдердің өсуіне қолайлы орта жасайды.

Сиыр сүтімен салыстырғанда, түйе сүтінде кальций, фосфор, және дәрумендер (әсіресе С дәрумені) көп, бұл оның ферментативті қасиеттерін жақсартады.

➤ Температура режимі

Сүтқышқыл бактериялары үшін оңтайлы температура 20–30°C аралығында болады. Тым төмен немесе жоғары температура бактериялардың белсенділігін төмендетуі мүмкін.

➤ Микроорганизмдердің түрі

Ашыту процесіне қолданылатын микроорганизмдер (мысалы, *Lactobacillus* және *Bifidobacterium* тектес бактериялар) өнімнің тағамдық құндылығын арттырады. Әртүрлі штамдарды пайдалану өнімнің сапасы мен дәмін жақсартады.

➤ Ашыту уақыты

Түйе сүтін ашыту уақыты әдетте 24–48 сағатты құрайды. Уақыт ұзақ болған сайын, өнімдегі сүт қышқылының мөлшері артады, бұл дәмнің қышқыл болуына әсер етеді.

➤ Қосымша ингредиенттер мен әдістер

Кейбір жағдайларда шұбатты дайындау кезінде ашыту процесін жылдамдату үшін бұрын дайындалған шұбат немесе арнайы стартерлер қосылады.

➤ Технологиялық процедуралар

Түйе сүтін ашыту алдында термиялық өңдеу немесе табиғи ферменттер қосу өнімнің микробиологиялық қауіпсіздігін арттырады. Ашыту процесінде түйе сүті жеңіл сіңірілетін, пробиотиктер мен дәрумендерге бай өнімге айналады, бұл оны халық арасында ғана емес,

сонымен қатар заманауи тағам өнеркәсібінде де танымал етеді [9].

Шұбаттың ашыту процесінде микроорганизмдердің түрлілігі маңызды рөл атқарады. Атап айтқанда, сүтқышқыл бактериялары мен ашытқы штамдары шұбаттың тағамдық және биологиялық қасиеттерін анықтайды. Ферментация кезінде түрлі микроорганизмдер сүт қышқылы, этанол, көмірқышқыл газы және басқа биологиялық белсенді қосылыстар сияқты метаболиттер түзіп, сусынның дәмі, хош иісі мен құрылымын айқындайды.

Түйе сүтіндегі табиғи микроорганизмдер шұбаттың ерекше биологиялық және пробиотикалық қасиеттеріне жауапты. Мысалы, *Lactobacillus plantarum*, *Lactobacillus acidophilus* және *Bifidobacterium* сынды сүтқышқыл бактериялары асқазан-ішек жүйесін жақсартып, иммунитетті нығайтады. Сонымен қатар, ашытқылардың кейбір түрлері, мысалы, *Saccharomyces cerevisiae* шұбатқа жеңіл газдалған құрылым мен ерекше хош иіс береді [10].

Шұбатты дайындау кезінде микроорганизмдер бірнеше маңызды функцияларды орындайды:

1. Ферментацияның басталуы және бақылауы: Микроорганизмдер түйе сүтіндегі лактозаны сүт қышқылына айналдырып, өнімнің қышқылдылығын арттырады, бұл процесс шұбаттың ұзақ уақыт бойы сақталуын қамтамасыз етеді.

2. Дәм мен иістің қалыптасуы: Сүтқышқыл бактериялары мен ашытқылар өздерінің әсерімен ерекше хош иіс пен қышқыл-тәтті дәм шығарады, бұл шұбаттың ұлттық тағам ретінде танылуына септігін тигізеді.

3. Пребиотикалық және пробиотикалық қасиеттер: Шұбат құрамындағы пайдалы микроорганизмдер ішек микрофлорасын ретке келтіріп, патогенді бактериялардың көбеюін тежейді, сонымен қатар иммундық жүйені күшейтеді.

4. Тағамдық құндылықтың арттыруы: Ашыту барысында түйе сүтіндегі ақуыздар мен дәрумендер жақсы сіңірілетін формаға келеді, сонымен қатар жаңа биологиялық белсенді қосылыстар түзіліп, шұбаттың емдік қасиеттері артады.

5. Микробиологиялық қауіпсіздікті қамтамасыз ету: Ферментация процесінде түзілген сүт қышқылы зиянды микроорганизмдердің өсуін тежейді, бұл шұбатты микробиологиялық тұрғыдан қауіпсіз етеді.

6. Микроорганизмдердің өртүрлілігі шұбаттың сапасын, дәмін және денсаулыққа пайдасын қамтамасыз етіп, оның ұлттық сусын ретінде танылуына және өндірістік мүмкіндіктерінің артуына үлкен әсер етеді [11].

Шұбаттың денсаулыққа пайдаларының бірнеше маңызды аспектілері бар:

Тағамдық құндылығы: Шұбат ақуыздарға, майларға, көмірсуларға, дәрумендерге (С, В тобы) және минералдарға (кальций, магний, калий) бай, бұл ағзаның энергиясын арттырып, сүйектер мен бұлшықеттердің құрылымын нығайтады. Сонымен қатар, шұбат құрамындағы аминқышқылдары жасушалардың қалпына келуіне және метаболизмнің жақсаруына ықпал етеді.

Терапевтік әсерлері:

- Асқорыту жүйесіне әсері: Шұбат ішек микрофлорасын қалыпқа келтіріп, асқазан-ішек ауруларын емдеуге көмектеседі. Лактозаға төзімсіз адамдар үшін де шұбат сіңіру оңай, өйткені ашыту барысында лактоза сүт қышқылына айналады.

- Иммундық жүйені нығайту: Құрамындағы антиоксиданттар мен иммуноглобулиндер ағзаның қорғаныш жүйесін күшейтеді.

- Детоксикация: Шұбат бауырдың жұмысын жақсартып, токсиндерді шығару процесін жеделдетеді.

- Туберкулез және тыныс алу жүйесіне әсері: Дәстүр бойынша шұбат туберкулезді емдеуде қолданылған, себебі оның құрамындағы компоненттер өкпе тіндерін қалпына келтіруге ықпал етеді.

- Қабынуға қарсы және антибактериалды әсер: Шұбат патогенді микроорганизмдердің өсуін тежейді, бұл оны бактериялық инфекциялардың алдын алу мен емдеуде тиімді етеді.

- Химиотерапиядан кейінгі қалпына келу: Шұбат ағзаны қалпына келтіруге көмектесіп, ауыр медициналық процедуралардан кейін денсаулықты тезірек қалпына келтіруге мүмкіндік береді [12].

Қорытынды. Қорытындылай келе, түйе сүті мен шұбат – адамның денсаулығына айтарлықтай пайдасы бар биологиялық және тағамдық құндылығы жоғары табиғи өнімдер болып табылады. Ашыту процесі барысында түйе сүтіндегі пайдалы бактериялар мен ферменттер ағзаға пайдалы микроэлементтерді қамтамасыз етеді, асқазан-ішек жүйесін жақсартады және иммунитетті нығайтады. Түйе сүті мен шұбаттың құрамында организм үшін қажетті дәрумендер, минералдар мен биологиялық белсенді заттар молынан кездеседі. Сонымен қатар, шұбаттың пайдалы әсері ас қорыту жүйесін қалпына келтіріп, токсиндерден тазартуға, иммунитетті күшейтуге, қабыну мен бактериялық инфекцияларды болдырмауға көмектеседі. Сондықтан түйе сүті мен шұбат тек дәстүрлі тағамдар ғана емес, денсаулыққа тиімді әсер ететін, табиғи және биологиялық белсенді өнімдер ретінде кеңінен қолданылуы тиіс.

Әдебиеттер / References:

- 1 Benkerroum N. (2013). Traditional fermented foods of North African countries: technology and food safety challenges with regard to microbiological risks. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 12(1), 54-89.
- 2 Kebede A., Dubey B., & Forslund A. (2021). Fermented camel milk and its health benefits: A review. *International Dairy Journal*, 114, 104944.
- 3 Konuspayeva G., Faye B., & Loiseau G. (2009). The composition of camel milk: A meta-analysis of the literature data. *Journal of Food Composition and Analysis*, 22(2), 95-101.
- 4 Wagdy M., et al. (2022). "Health benefits and therapeutic potentials of camel milk and its fermented products." *Functional Foods in Health and Disease*, 12(8), 242-253.
- 5 Aref A., et al. (2015). "Camel milk as a functional food: An overview." *Journal of Dairy Research*, 82(3), 298-305.
- 6 Iqbal T. et al. Medicinal and Nutritional Potential of Camel Milk: A Comprehensive Overview.
- 7 Dhahir N. et al. Camel Milk Composition and Microbial Reduction with Different Pasteurization Methods //American Journal of Food Science and Technology. – 2021. – Т. 9. – №. 4. – С. 134-141.
- 8 Lund A. K. et al. 9. Effect of heating on shelf life and sensory characteristics of camel milk //Pure and Applied Biology (PAB). – 2020. – Т. 9. – №. 1. – С. 74-79.
- 9 Shori A. B. Comparative Analysis of Lactobacillus Starter Cultures in Fermented Camel Milk: Effects on Viability, Antioxidant Properties, and Sensory Characteristics //Foods. – 2024. – Т. 13. – №. 22. – С. 3711.
- 10 Abdukhakimov A., et al. (2021). "The Role of Camel Milk in the Nutritional and Therapeutic Aspects for Human Health." *International Journal of Dairy Science and Technology*. This study discusses the biochemical properties of camel milk, including its proteins, vitamins, and therapeutic benefits, such as its support for the immune system and digestive health.
- 11 Ahmed M., et al. (2018). "Nutritional and Health Benefits of Camel Milk and Shubat." *Journal of Food Science and Technology*. This article highlights the nutritional content of Shubat and its therapeutic properties, particularly in managing conditions such as lactose intolerance, respiratory diseases, and detoxification.
- 12 Tulaeva A. B., et al. (2020). "Health Benefits of Camel Milk Fermentation Products." *Kazan University Medical Journal*. The study elaborates on how fermentation processes in Shubat contribute to the formation of probiotics and bioactive compounds, enhancing its digestive and immune benefits.

Болат Ж.М.¹, Ахметсадыкова Ш.Н.¹

¹Алматинский технологический университет, г. Алматы, Казахстан

ВАЖНОСТЬ ПРОЦЕССА ФЕРМЕНТАЦИИ ВЕРБЛЮЖЬЕГО МОЛОКА И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА ОРГАНИЗМ ЧЕЛОВЕКА

Аннотация. В данной статье рассматривается важность процесса ферментации верблюжьего молока и его влияние на организм человека. Ферментация способствует образованию биологически активных веществ, улучшает качество готового продукта и повышает его натуральную ценность. В статье представлены уникальный состав верблюжьего молока, полезные свойства, возникающие в процессе его ферментации, а также пищевые и лечебные свойства шубата. Верблюжье молоко улучшает работу желудочно-кишечного тракта, укрепляет иммунитет, способствует очищению от токсинов и содержит множество полезных микроэлементов и пробиотиков. Процесс ферментации верблюжьего молока увеличивает биологическую ценность шубата, поскольку в его составе образуются органические кислоты, ферменты и антиоксиданты, что делает этот напиток полезным для организма.

Ключевые слова: верблюжье молоко, шубат, процесс ферментации, молочнокислые бактерии, ферментация.

* * *

Bolat Zh.M.¹, Akhmetsadykova Sh.N.¹

¹Almaty Technological University, Almaty c., Kazakhstan

THE IMPORTANCE OF THE FERMENTATION PROCESS OF CAMEL MILK AND ITS IMPACT ON THE HUMAN BODY

Abstract. This article examines the importance of the fermentation process of camel milk and its impact on the human body. Fermentation promotes the formation of biologically active substances, improves the quality of the final product, and enhances its natural value. The article presents the unique composition of camel milk, the beneficial properties that arise during its fermentation, as well as the nutritional and medicinal properties of shubat. Camel milk improves gastrointestinal function, strengthens the immune system, helps detoxify the body, and contains many beneficial trace elements and probiotics. The fermentation process of camel milk increases the biological value of shubat, as it leads to the formation of organic acids, enzymes, and antioxidants, making this beverage beneficial for the human body.

Keywords: camel milk, shubat, fermentation process, lactic acid bacteria, fermentation.

Авторлар туралы мәліметтер

Болат Жансая Мейрханқызы – «Тағам өнімдерінің қауіпсіздігі және сапасы» кафедрасының магистранты, Алматы технологиялық университеті, Алматы қ., Қазақстан, zhansaya.bolat.01@bk.ru

Ахметсадыкова Шынар Нурлановна – PhD, “Тағам өнімдерінің қауіпсіздігі және сапасы” кафедрасының ассистент-профессоры, Алматы технологиялық университеті, Алматы қ., Қазақстан, shynar.akhmetsadykova0@gmail.com

Сведения об авторах

Болат Жансая Мейрханқызы – магистрант кафедры «Безопасность и качество пищевых продуктов», Алматинский технологический университет, г. Алматы, Казахстан, zhansaya.bolat.01@bk.ru

Ахметсадыкова Шынар Нурлановна – PhD, ассистент-профессор кафедры «Безопасность и качество пищевых продуктов», Алматинский технологический университет, г. Алматы, Казахстан, shynar.akhmetsadykova0@gmail.com

Information about the authors

Bolat Zhansaya Meirkhankyzy – Master's student at the Department of «Food Safety and Quality», Almaty Technological University, Almaty c., Kazakhstan, zhansaya.bolat.01@bk.ru

Akhmetsadykova Shynar Nurlanovna – PhD, Assistant Professor at the Department of «Food Safety and Quality», Almaty Technological University, Almaty c., Kazakhstan, shynar.akhmetsadykova0@gmail.com

Ikramova M.L.¹, Rakhmatov B.N.¹, Maxsudov S.I.¹, Gaffarov I.Ch.¹

¹Scientific Research Institute for Seed Breeding and Agricultural Technology of
Cotton Growing, Bukhara Scientific Experimental Station,
Bukhara c., Uzbekistan

THE IMPORTANCE OF PRODUCING ECOLOGICALLY CLEAN CONSUMER OILS, PROTEIN FLOUR AND GOSSYPOL-FREE COTTON VARIETIES WITH NATURAL COLOURED FIBRE

Abstract. The article presents scientific data on a number of improved high-yielding, early maturing lines and varieties of cotton that meet the requirements of world market standards, which are cultivated in saline, low-water and blown by Afghan heat conditions of the Bukhara region, do not contain the toxic alkaloid gossypol in the vegetative and generative organs, and which produce environmentally friendly edible oil, protein flour from seed kernels, seed waste and naturally colored fibers. Their potential as a highly profitable, environmentally friendly product is discussed, which, in comparison with various GMO products, is the most necessary environmentally friendly source of nutrition for human and animal health, for the healthy and harmonious development of future generations. Also, due to the presence of various natural colored fibers and the environmental friendliness of edible oil, protein flour, seed processing waste obtained from them, on the one hand, on the other hand, due to the absence of gossypol in the process of processing products of cleaning, refining, dyeing fibers, etc. High economic profitability is achieved by reducing a number of technological processes, which ultimately allows for an increase in foreign exchange earnings to our state treasury. In addition, newly bred varieties and lines of organic cotton will serve as donors for future breeding research.

Keywords: gossypol-free cotton, environmentally friendly product, protein flour, edible oil, colored cotton fiber.

Introduction. Relevance of the topic. Meeting the needs of more than 37 million people of Uzbekistan in nutritious, environmentally friendly food products, industrial and technical products is one of the most pressing problems of our time.

Eco-organic varieties of cotton, giving high-quality natural colored fiber, producing environmentally friendly protein flour and vegetable oil from the

core of seeds, and seed, bush waste serve as a source of nutritious feed for livestock, poultry and fish farming, and also have high potential for the development of natural medicines for human health and medicine. They are stable, have large capsules, are high-yielding, early maturing, afghan wind heat-resistant, drought-resistant, frost-resistant, resistant to salinity, do not contain the toxic alkaloid gossypol in vegetative and generative organs. These lines and varieties were created by scientists of the Research Institute of Selection, Seed Production and Cultivation of Agrotechnology of Cotton of the Bukhara Research Experimental Station (with the participation of A. Battalov and a group of scientists-breeders).

To date, all leguminous, food, fruit and vegetable, industrial and oil crops, including various varieties of cotton (China, India, Australia, etc.) have been imported to our republic from foreign countries, and now most of them have been created by the method of genetic modification (GMO). These are varieties that provide high yields even in various climatic conditions.

However, although they provide most of the population with food, clothing and other goods, they can have a negative impact on the development of the cardiovascular systems and brain function in humans and animals and after a few years mutate and cause various negative mutational consequences in their bodies, as evidenced by genetic sources and foreign literature on the studied studies [1-3]; [4-6]; [7-10]; [18,19].

Therefore, from the developed countries of the world: America, England, France, Germany, etc. well-known countries have abandoned GMO food products. Laying the foundation of the Third Renaissance of the new Uzbekistan, raising the future generation healthy, strong and comprehensively developed, especially in modern conditions, when various climate changes and violations of the laws of natural balance occur on a global scale, in order to grow and present to the world the successors of modern Al-Bukhari, Abu Ali ibn Sino, Al-Khwarizmi, Al-Farabi, Al-Beruni, Mirzo Ulugbek, Timurids, etc. future Uzbek nation, it is necessary to provide them with environmentally friendly and safe products, consume organic, pure bio-products, and not products with GMOs. Although the varieties of cotton obtained by scientists of the Bukhara Institute of Agricultural Sciences (a group with the participation of A. Battalov) belong to the category of industrial crops, they differ from industrial varieties of cotton in their environmental friendliness, safety and medicinal properties due to the absence of gossypol in their vegetative and generative organs and the natural high-quality fiber obtained from it of

various light yellow, red and orange colors, as well as protein flour, edible oil and seed production waste obtained from the seed kernel. It plays an important role in the activities of people, as well as all animals and birds.

Such environmentally friendly fabrics are very important for the delicate skin of newborns and healthy growth and development, as well as for patients who may be allergic to some chemical dyes and substances. It protects their body from various stressful situations and prevents diseases [1], [11-13], [14,15].

The purpose and objectives of the study. To create, using the method of traditional selection, an early-ripening, machine-harvested cotton variety that is free from harmful chemicals, does not harm the body of humans and animals, produces environmentally friendly, high-quality colored fiber and nutritious organic bioproducts (protein flour, edible oil, etc., seed production waste) even under stressful conditions of any nature and to introduce it into production.

Research method. The research effectively used practical selection, advanced genetic and long-term non-traditional selection methods of the late A. Battalov. The research work was carried out on the basis of the "Methodological Guide for Conducting Selection and Seed Production Work on Cotton" developed at the A.E. Zaitsev Research Institute of Cotton Selection and Seed Production, "Genetics, Selection and Seed Production of Cotton" by N.G. Simongulyan et al. [18,19], as well as the manuals "Methodology of field experiments with cotton" [16] and "Methodology of conducting field experiments" [17], adopted by Uzbek Research Institute of Cotton Growing. The obtained data on productivity are analyzed based on the manual of B. Dospekhov "Methodology of field experiment" [20].

Research results and conclusions. In order to introduce an environmentally friendly variety of organic cotton intended for the production of naturally colored fiber and high-quality organic food products, scientists from the Bukhara Institute of Agricultural Sciences (a group with the participation of A. Battalov) for the first time identified cotton varieties that do not contain gossypol in all organs. They then conducted many years of research to create several generations and families of environmentally friendly organic cotton varieties, both gossypol-free and with various natural colors, and developed a number of successful lines and varieties suitable for the extreme conditions of the Bukhara region (salinity, water deficit, climate change, resistance to germplasm and various sucking pests and insects), producing high-yielding and high-quality fiber. Generations of this line and variety [Bukhara-6 x US collection number without gossypol) x

L-20 (Bukhara-9 without gossypol) x dyed fiber L-33] were obtained by repeated crossing, multiple selection and repeated research. Its further improvement continues, work is underway to improve valuable economic traits, improve quality, in the future, environmentally friendly organic varieties of cotton in gray, light pink and pink, gray, blue and other colors are purposefully improved.

In 2023-2024, the improved list will be significantly improved, individual selections and re-examinations in generations will be carried out, families and groups with the highest quality indicators, valuable economic traits, resistance to stress and diseases will be selected and tested, families with positive indicators will be selected and re-selected, the variety will be improved.

A comparison of valuable economic characteristics, technological and quality indicators of the new selected ecoline with domestic and foreign varieties was carried out, its advantages and distinctive features were scientifically studied. In the laboratories of the Bukhara SIFAT of the textile industry and the Kagan oil and fat plant, the degree of compliance with international standards (weight of one box is 8-9 g), fiber fineness and its color: light yellow, brown and sun-colored), color, early maturity (113-118-120 days), fiber length (1.17-1.24 inches), elasticity, softness, metric number, linear density, micronaire index (4.1-4.5), fiber type (IV), yield (50-55 c/ha), environmentally friendly productivity (protein flour, vegetable oil, various environmentally friendly new generation drugs and biologically active substances from seed waste for livestock, poultry, fish farming and medicine), oil content (23-26%) were determined.

Resistance to various stress conditions (harmsil, drought, frost, salinity, diseases, pests) was assessed in laboratory and field conditions based on the analysis of scientific indicators of its advantages with the standard. The typicality and homogeneity of the variety, by testing 3 times during the growing season, the group was divided into families and generations. Bushes that are not typical for the variety, low-yielding, late-ripening, with low quality indicators, unstable to stress, were rejected. The most valuable varieties, possessing the greatest positive economic characteristics, technological and quality indicators, resistance to various natural stresses, unfavorable environmental conditions, diseases, pests and insects, early maturity, suitability for machine harvesting, large sizes of cotton bolls, high quality of fiber and seeds, high yield, surpassing the standard variety in obtaining multi-colored eco-products, are transferred to soil control and the State Commission for Variety Testing as new varieties.

By introducing these new environmentally friendly varieties of cotton into production, we will be able to provide the over 37 million population of our country, growing exponentially, with nutritious and healing, environmentally friendly food products (protein flour, vegetable oil and natural dyed fiber), strategically important raw materials obtained from the organs and waste of cotton, such as valuable colored fiber, seed core, etc., garments, and also in a number of countries of the world (Africa) used for the prevention of various diseases, such as dystrophy, rickets, etc., caused by protein deficiency.

This will create an opportunity to provide medicine with natural, clean, biologically active additives of a new generation. In addition, since they have a natural color, there is no need for chemical dyes to dye other technical varieties in different colors and the need to wash them in 200 or more liters of water after dyeing, and allergic reactions in people to various chemical dyes are excluded. In addition, due to the absence of toxic alkaloids in the seed kernel, the process of oil purification from various toxic substances in oil-producing plants is reduced, and it is obtained by cold pressing, while the healing properties of useful essential amino acids contained in the seed kernel (since the thermal method is not used, proteins are not denatured and do not pass from state 1 to state 2), and labor costs, electricity, acid, gasoline and other costs for additional purification are reduced (up to 45%).

The yield of oil from all technical varieties of cotton grown in Uzbekistan is distinguished, on the one hand, by its high (26%, sometimes even higher), on the other hand, by its environmental friendliness, and on the other hand, due to the cold pressing method, which allows saving resources without additional costs (45%), low cost and healing properties, the absence of toxic alkaloids in the oil, as well as the natural coloring of the fiber, which allows producing fabrics of various colors without adding various chemical dyes.

Conclusion. If earlier foreigners accepted cottonseed oil as technical oil and protein flour after purification from gossypol, now it is recognized as organic environmentally friendly protein flour and consumer oil, and it has become possible to purchase it on the world and local markets. High demand from foreign buyers not only for environmentally friendly colored fiber, but also for cotton products leads to an increase in the volume of foreign investment and foreign exchange earnings to our state treasury. The Republic of Uzbekistan will become one of the first countries where a cotton variety will be created that fully meets the requirements of the world

market in all respects and gives the only new bioorganic colored fibrous eco-product in the world. It will also serve as breeding material (donor) for the creation of new generations of cotton varieties in the future, and all organic bio-products obtained from it will be sold at a high price, which will lead to an increase in foreign exchange earnings to the state treasury and an increase in the number of foreign investments.

Areas of application of the research: In agriculture (in selection and seed production)

References

- 1 *Rajendra Prasad, Desouza Blaise*. Low Gossypol Containing Cottonseed: Not only a Fibre but also a FoodCrop. February 2020 National Academy Science Letters 43(2) DOI:10.1007/s40009-020-00931-1
- 2 *Zhimulev I.F.* General and Molecular Genetics [Electronic resource]: a textbook for universities / I.F. Zhimulev. - Electronic text data. - Novosibirsk: Siberian University Publishing House, 2017. - 480 p. - 978-5-379-02003-3. - [Electronic resource]: Access mode: <http://www.iprbookshop.ru/65279.html>
- 3 *Gorbunova V.N.* Clinical Genetics [Electronic resource]: textbook / [et al.]. - Electronic text data. - St. Petersburg: Foliant, 2015. - 408 p. - 978-5-93929-261-0. - [Electronic resource]: Access mode: <http://www.iprbookshop.ru/61918.html>
- 4 Collection of problems in molecular biology and medical genetics with solutions [Electronic resource]: study guide / . — Electronic text data. — Samara: REAVIZ, 2012. — 168 p. — 2227-8397. — Access mode: <http://www.iprbookshop.ru/18421.html>
- 5 *Setubal J.* Introduction to Computational Molecular Biology [Electronic resource] / J. Setubal, J. Meidanis. — Electronic text data. — Moscow, Izhevsk: Regular and Chaotic Dynamics, Izhevsk Institute of Computer Research, 2007. — 420 p. — 978-5-93972-623-8. — Access mode: <http://www.iprbookshop.ru/16497.html>
- 6 *Tuzova R.V.* Molecular-genetic mechanisms of evolution of the organic world. Genetic and cellular engineering [Electronic resource]: monograph / R.V. Tuzova, N.A. Kovalev. - Electronic text data. - Minsk: Belarusian Science, 2010. - 395 p. - 978-985-08-1186-8. - Access mode: <http://www.iprbookshop.ru/10115.html>
- 7 *Goncharova R.I. [et al.]*. Genomic instability and impaired DNA repair as factors of hereditary and somatic pathology in humans [Electronic resource] / - Electronic text data. - Minsk: Belarusian Science, 2015. - 283 p. - 978-985-081859-1. - Access mode: <http://www.iprbookshop.ru/50805.html>
- 8 *Zhimulev I. F.* General and Molecular Genetics: a textbook for universities / Zhimulev Igor Fedorovich; eds. E. S. Belyaeva, A. P. Akifev. - Novosibirsk: Novosib. University: Sib. University Press, 2002. - 458 p.
- 9 *Lewin B.* Genes / Lewin Benjamin; trans. of the 9th English ed. by I. A. Kofidi

et al.; edited by D. V. Rebrikov. - Moscow: Binom. Laboratory of Knowledge, 2012. - 896 p.:

10 *Henderson M.* Genetics. 50 ideas you need to know: trans. from English / Henderson Mark. - M.: Phantom Press, 2016. - 208 p.

11. *Kurbonov A.* Will colored cotton replace white: expert opinion. Darakchi No. 48, T.: 1.12.2022 <https://trikotazh-ryad.ru/blog/Khlopchatnik-vidy-i-sorta/>

12 Australian scientists have created colored cotton. (08.08.2020) [Electronic resource]: <https://glavagronom.ru/news/avstraliyskie-uchenye-sozdali-cvetnoy-hlopchatnik>

13 Russian scientists have created a brown-fibered variety of cotton for the production of hypoallergenic fabric. [Electronic resource]: <https://glavagronom.ru/news/Uchenye-sozdali-burovoloknistyj-sort-hlopchatnika-dlya-proizvodstva-gipoallergennoj-tkani> 31.10.2019

14 Colored cotton from the field: Scientists have grown a unique species of cotton lant.08.08.2020. [Electronic resource]: <https://uzts.uz/ru/cvetnoj-hlopok-s-polya-uchenye-vyrastili-unikalnyj-vid-hlopkovogo-rasteniya/>

15 *Ikramova M. L., Rakhmatov B. N., Ruzieva S.R., Makhsudov S.I.* Creating Finely Fibred Non-Gossypol Organic Cotton Published: August 25, 7p(2023). [Electronic resource]: <https://bioresscientia.com/journals/clinical-case-reports-and-studies/current-issues>

16 Methodology of field and experiments vegetation with cotton. SOYUZNIKHI, Tashkent, 225. (1973).

17 Methods of passing field experiments. UzCSRI, Tashkent, 147. (2007).

18 *Simongulyan N.S., Mukhamedov S.R., Shafrin A.N.* (1987). Genetics, selection and seed production of cotton 3rd edition. Addition. Mekhnat, Tashkent, 320.

19 *Simongulyan N.S.* Combination ability and heritability of traits of cotton. Publ., house Fan, Tashkent, 145. (1997).

20 *Dospekhov B.A.* Methods of passing field experiments. Kolos, Moscow, 416. (1989).

Source of funding for the study. Funding for this topic was provided by royalties (seed collections) by scientists from the Bukhara Scientific Experimental Station of the Research Institute of Selection, Seed Production and Cultivation of Cotton Agrotechnologies through the introduction of scientific and selection developments (creation of new varieties and zoning of these varieties) into production.

Acknowledgments. We would like to express our gratitude to the management of the Bukhara Scientific Experimental Station of the Research Institute of Selection, Seed Production and Cultivation of Cotton Agrotechnology, which provided us with all the necessary conditions for conducting our research.

* * *

Икрамова М.Л.¹, Рахматов Б.Н.¹, Мақсудов С.И.¹, Гаффаров И.Ч.¹

¹Мақта селекциясы, тұқым шаруашылығы және өсіру агротехнологиялары ғылыми-зерттеу институтының Бұхара ғылыми-тәжірибе станциясы, Бұхара қ, Өзбекстан

ЭКОЛОГИЯЛЫҚ ТАЗА ТҰТЫНУШЫ МАЙЫ, ПРОТЕНДІ, ТАБИҒИ ТҮСІ БАР МАҚТА СҰРТТАРЫН ӨНДІРУДІҢ МАҢЫЗДЫҒЫ

Түйіндеме. Мақалада Бұхара өңірінің тұзды, суы аз, жел суыған жерінде өндірілетін, өсімдік және генеративті мүшелерінде улы алкалоидты госсиполы жоқ, өсімдік майынан дайындалған, өсімдік майынан жасалған протеин талаптарына жауап беретін, әлемдік нарық стандарттарының талаптарына жауап беретін, мақтаның жетілдірілген, өнімділігі жоғары, ерте пісетін бірқатар сорттары туралы ғылыми деректер келтірілген. дәндер, тұқым қалдықтары және табиғи түсті талшықтар. Онда адам мен жануарлардың денсаулығына және болашақ ұрпақтың терең де үйлесімді дамуы үшін бүгінгі жағдайда олардың әртүрлі ГМО өнімдерімен салыстырғанда экологиялық таза тағам көзі және жоғары рентабельді, экологиялық қауіпсіз өнім ретінде пайдалану мүмкіндігі талқыланады. Сондай-ақ, әртүрлі табиғи боялған талшықтың болуына және одан алынатын тағамдық майдың, ақуыз ұнының, тұқым қалдықтарының экологиялық тазалығына байланысты, бір жағынан, өнімді өңдеу, тазалау, тазарту, талшықты бояу және т.б. кезінде госсиполдың болмауына байланысты. Бірқатар процестерді қысқарта отырып, бұл біздің экономикалық рентабельділіктің жоғарылауына, сыртқы айырбастың жоғары болуына әкеледі. мемлекет қазынасы. Сонымен қатар, жаңадан әзірленген биомасса сорттары мен линиялары алдағы селекциялық зерттеулерге донор болады.

Түйінді сөздер: госсиполсыз мақта, экологиялық таза өнім, протеинді ұн, тағамдық май, әртүрлі түсті мақта талшығы.

Икрамова М.Л.¹, Рахматов Б.Н.¹, Махсудов С.И.¹, Гаффаров И.Ч.¹

¹Научно-исследовательский институт агротехнологий, селекции, семеноводства и выращивания Бухарской научно-опытной станции, г. Бухара, Узбекистан.

ЗНАЧЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВА ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТЫХ ПОТРЕБИТЕЛЬСКИХ МАСЕЛ, БЕЛКОВОЙ МУКИ И БЕЗГОССИПОЛОВЫХ СОРТОВ ХЛОПКА С НАТУРАЛЬНЫМ ЦВЕТНЫМ ВОЛОКНОМ

Аннотация. В статье приведены научные данные, о ряде улучшенных высокоурожайных, скороспелых линий и сортов хлопчатника, соответствующим

сих требованиям мировых рыночных стандартов, которые возделываются в засоленных, маловодных и продуваемых афганскими жарами условиях Бухарской области, не содержащие в вегетативных и генеративных органах токсичный алкалоид- госсипол, и которые производят экологически чистое пищевое масло, белковую муку из ядер семян, отходы семян и натурально окрашенные волокна. Обсуждается их потенциал как высокорентабельного, экологически чистого продукта, который по сравнению с различными продуктами ГМО, является самым необходимым экологически чистым источником питания для здоровья человека и животных, для здорового и гармоничного развития будущего поколения. Также, за счет наличия различных природных окрашенных волокон и экологической чистоты получаемых из них пищевого масла, белковой муки, отходов переработки семян, с одной стороны, с другой стороны, за счет отсутствия вещества госсипола, в процессе переработки продукции очистки, рафинирования, окраски волокон и т.д. достигается высокая экономическая рентабельность за счет сокращения ряда технологических процессов, что в конечном итоге позволяет увеличить валютные поступления в нашу государственную казну. Кроме того, вновь выведенные сорта и линии биохлопка послужат донорами для будущих селекционных исследований.

Ключевые слова: безгоссиполовый хлопок, экологически чистый продукт, белковая мука, пищевое масло, цветное хлопковое волокно.

Information about the authors

Ikramova Makhbuba Latipovna – candidate of biological sciences, senior researcher, Scientific Research Institute for Seed Breeding and Agricultural Technology of Cotton Growing, Bukhara Scientific Experimental Station, Bukhara c., Uzbekistan, ikramova55@mail.ru

Rakhmatov Bakhtiyor Nimatovich – candidate of agricultural sciences, senior researcher, Scientific Research Institute for Seed Breeding and Agricultural Technology of Cotton Growing, Bukhara Scientific Experimental Station, Bukhara c., Uzbekistan, rakhmatov68@mail.ru

Makhsudov Saidumar Isaevich – candidate of agricultural sciences, senior researcher. Scientific Research Institute for Seed Breeding and Agricultural Technology of Cotton Growing, Bukhara Scientific Experimental Station, Bukhara c., Uzbekistan, said59@list.ru

Gaffarov Inoyat Chorievich – researcher, Scientific Research Institute for Seed Breeding and Agricultural Technology of Cotton Growing, Bukhara Scientific Experimental Station, Bukhara c., Uzbekistan, inoyatgofforov@gmail.com

Авторлар туралы мәліметтер

Икрамова Махбуба Латиповна – биология ғылымдарының кандидаты, аға ғылыми қызметкер, Мақта селекциясы, тұқым шаруашылығы және өсіру агротехнологиялары ғылыми-зерттеу институтының Бұхара ғылыми-тәжірибе станциясы, Бұхара қ., Өзбекстан, ikramova55@mail.ru

Рахматов Бахтиёр Ниматович – ауыл шаруашылығы ғылымдарының кандидаты, аға ғылыми қызметкер, Мақта селекциясы, тұқым шаруашылығы және өсіру агротехнологиялары ғылыми-зерттеу институтының Бұхара ғылыми-тәжірибе станциясы, Бұхара қ., Өзбекстан, rakhmatov68@mail.ru

Махсудов Саидумар Исаевич – ауыл шаруашылығы ғылымдарының кандидаты, аға ғылыми қызметкер, Мақта селекциясы, тұқым шаруашылығы және өсіру агротехнологиялары ғылыми-зерттеу институтының Бұхара ғылыми-тәжірибе станциясы, Бұхара қ., Өзбекстан, said59@list.ru

Гаффаров Иноят Чориевич – зерттеуші, Мақта селекциясы, тұқым шаруашылығы және өсіру агротехнологиялары ғылыми-зерттеу институтының Бұхара ғылыми-тәжірибе станциясы, Бұхара қ., Өзбекстан, inoyatgofforov@gmail.com

Сведения об авторах

Икрамова Махбуба Латиповна – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Научно-исследовательский институт агротехнологий, селекции, семеноводства и выращивания Бухарской научно-опытной станции, г. Бухара, Узбекистан, ikramova55@mail.ru

Рахматов Бахтиёр Ниматович – кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, Научно-исследовательский институт агротехнологий, селекции, семеноводства и выращивания Бухарской научно-опытной станции, г. Бухара, Узбекистан, rakhmatov68@mail.ru

Махсудов Саидумар Исаевич – кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, Научно-исследовательский институт агротехнологий, селекции, семеноводства и выращивания Бухарской научно-опытной станции, г. Бухара, Узбекистан, said59@list.ru

Гаффаров Иноят Чориевич – научный сотрудник, Научно-исследовательский институт агротехнологий, селекции, семеноводства и выращивания Бухарской научно-опытной станции, г. Бухара, Узбекистан, inoyatgofforov@gmail.com

ПЕРЕВОД СТАТЬИ / МАҚАЛАНЫҢ АУДАРМАСЫ

МРНТИ 68.35.03

Икрамова М.Л.¹, Рахматов Б.Н.¹, Махсудов С.И.¹, Гаффаров И.Ч.¹

¹Научно-исследовательский институт селекции, семеноводство и выращивания агротехнологии Бухарской научно-опытной станции, г. Бухара, Узбекистан.

ЗНАЧЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВА ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТЫХ ПОТРЕБИТЕЛЬСКИХ МАСЕЛ, БЕЛКОВОЙ МУКИ И БЕЗГОССИПОЛОВЫХ СОРТОВ ХЛОПКА С НАТУРАЛЬНЫМ ЦВЕТНЫМ ВОЛОКНОМ

Аннотация. В статье приведены научные данные, о ряде улучшенных высокоурожайных, скороспелых линий и сортов хлопчатника, соответствующих требованиям мировых рыночных стандартов, которые возделываются в засоленных, маловодных и продуваемых афганскими жарами условиях Бухарской области, не содержащие в вегетативных и генеративных органах токсичный алкалоид-госсипол, и которые производят экологически чистое пищевое масло, белковую муку из ядер семян, отходы семян и натурально окрашенные волокна. Обсуждается их потенциал как высокорентабельного, экологически чистого продукта, который по сравнению с различными продуктами ГМО, является самым необходимым экологически чистым источником питания для здоровья человека и животных, для здорового и гармоничного развития будущего поколения. Также, за счет наличия различных природных окрашенных волокон и экологической чистоты получаемых из них пищевого масла, белковой муки, отходов переработки семян, с одной стороны, с другой стороны, за счет отсутствия вещества госсипола, в процессе переработки продукции очистки, рафинирования, окраски волокон и т.д. достигается высокая экономическая рентабельность за счет сокращения ряда технологических процессов, что в конечном итоге позволяет увеличить валютные поступления в нашу государственную казну. Кроме того, вновь выведенные сорта и линии биохлопка послужат донорами для будущих селекционных исследований.

Ключевые слова: безгоссиполовый хлопок, экологически чистый продукт, белковая мука, пищевое масло, цветное хлопковое волокно.

Введение. Актуальность темы. Удовлетворение потребностей более 37-миллионного населения Узбекистана в питательных, экологически чистых продуктах питания, промышленной и технической продукции является одной из самых актуальных проблем современности.

Экоорганические сорта хлопчатника, дающие высококачественное натуральное цветное волокно, производящие из сердцевины семян экологически чистую белковую муку и растительное масло, и семенных, кустовых отходов служат источником питательного корма для животноводства, птицеводства и рыбоводства, а также имеют высокий потенциал для разработки натуральных лекарственных средств для здоровья человека и медицины. Они устойчивы, имеют крупные коробочки, высокоурожайны, скороспелы, гармсиляустойчивы, засухоустойчивы, морозоустойчивы, устойчивы к засолению, не содержат в вегетативных и генеративных органах токсичного алкалоида госсипола. Эти линии и сорта созданы учеными Научно-исследовательского института Селекции, семеноводства и выращивания агротехнологии хлопчатника Бухарского научно-исследовательского опытного станции (при участии А. Батталова и группы ученых-селекционеров).

На сегодняшний день все зернобобовые, продовольственные, плодово-овощные, технические и масличные культуры, в том числе различные сорта хлопчатника (Китай, Индия, Австралия и др.) завезены в нашу республику из зарубежных стран, и сейчас большинство из них создано методом геномной модификации (ГМО). Это сорта, которые обеспечивают высокую урожайность даже в различных климатических условиях.

Однако, хотя они и обеспечивают большую часть населения продовольствием, одеждой и другими товарами, они могут оказывать негативное влияние на развитие сердечно-сосудистых систем и функции мозга в организме человека и животных и через несколько лет мутировать и вызывать различные негативные мутационные последствия в их организме, о чем свидетельствуют генетические источники и зарубежная литература по изученным исследованиям [1-3]; [4-6]; [7-10]; [18,19].

Поэтому из развитых стран мира: Америка, Англия, Франция, Германия и т.д. известные страны отказались от ГМО-продуктов питания.

Закладывая фундамент Третьего возрождения нового Узбекистана, воспитывая будущее поколение здоровым, сильным и всесторонне развитым, особенно в современных условиях, когда в глобальном масштабе происходят различные изменения климата и нарушения законов равновесия природы, для того, чтобы вырастить и представить миру продолжателей современных Аль-Бухари, Абу Али ибн Сино, Аль-Хорезми, Аль-Фараби, Аль-Беруни, Мирзо Улугбека, Тимуридов

и т.д. будущей узбекской нации, необходимо обеспечить их экологически чистыми и безопасными продуктами, потреблять органические, чистые биопродукты, а не продукты с ГМО.

Хотя сорта хлопчатника, полученные учеными Бухарского института сельскохозяйственных наук (группа с участием А. Батталова), относятся к категории технических культур, они отличаются от технических сортов хлопчатника экологической чистотой, безопасностью и лечебными свойствами за счет отсутствия в их вегетативных и генеративных органах госсипола и получаемого из него натурального высококачественного волокна различной светло-желтой, красной и оранжевой окраски, а также белковой муки, пищевого масла и отходов семенного производства, получаемых из ядра семян. Он играет важную роль в деятельности людей, а также всех животных и птиц.

Такие экологически чистые ткани очень важны для нежной кожи новорожденных и здорового роста и развития, а также для пациентов, у которых может быть аллергия на некоторые химические красители и вещества. Он защищает их организм от различных стрессовых ситуаций и предотвращает заболевания [1], [11-13] ; [14,15].

Цель и задачи исследования - создать методом традиционной селекции скороспелый, машинно-уборочный сорт хлопчатника, свободный от вредных химических веществ, не наносящий вреда организму человека и животных, дающий экологически чистое, высококачественное окрашенное волокно и питательные органические биопродукты (белковую муку, пищевое масло и т.д., отходы семенного производства) даже в стрессовых условиях любого характера и внедрить его в производство.

Метод исследования. В исследованиях эффективно использовались практическая селекция, передовые генетические и многолетние нетрадиционные селекционные методы покойного А.Батталова. Научно-исследовательская работа выполнена на основе «Методического руководства по проведению селекционно-семеноводческой работы хлопчатника», разработанного в НИИ селекции и семеноводства хлопчатника им. А.Е. Зайцева, «Генетики, селекции и семеноводства хлопчатника» Н.Г. Симонгулян и др. [18], а также руководства «Методика полевых опытов с хлопчатником» [19] и «Методика проведения полевых опытов» [16], принятые УзНИИХ. Полученные данные о продуктивности анализируются на основании пособия Б. Доспехова «Методика полевого опыта» [20].

Результаты исследований и выводы. С целью введения экологически чистого сорта биохлопка, предназначенного для производства натурально окрашенного волокна и высококачественных органических продуктов питания, учеными Бухарского института сельскохозяйственных наук (группа с участием А. Батталова) впервые выявлены сорта хлопчатника, не содержащие госсипол во всех органах. В дальнейшем они провели многолетние исследования по созданию нескольких поколений и семейств экологически чистых органических сортов хлопчатника, как безгоссиполовых, так и с различными природными окрасками, и вывели ряд успешных линий и сортов, подходящих для экстремальных условий Бухарского региона (засоление, дефицит воды, изменение климата, устойчивость к зародышевой плазме и различным сосущим вредителям и насекомым), дающих высокоурожайное и качественное волокно.

Поколения этой линии и сорта [Бухара-6 х номер коллекции США без госсипола] х L-20 (Бухара-9 без госсипола) х окрашенное волокно L-33] были получены путем повторного скрещивания, множественного отбора и повторного исследования. Продолжается его дальнейшее совершенствование, ведутся работы по улучшению ценных хозяйственных признаков, улучшению качества, в дальнейшем целенаправленно совершенствуются экологически чистые органические сорта хлопка серого, светло-розового и розового, серого, синего и др. цветов.

В 2023-2024 гг. будет существенно улучшен улучшенный список, проведены индивидуальные отборы и переосвидетельствования в поколениях, отобраны и испытаны семьи и группы с наиболее высокими показателями качества, ценными хозяйственными признаками, устойчивостью к стрессам и болезням, отобраны и переотобраны семьи с положительными показателями, улучшен сорт.

Проведено сравнение ценных хозяйственных признаков, технологических и качественных показателей новой выделенной эколинии с отечественными и зарубежными сортами, научно изучены ее преимущества и отличительные особенности.

В лабораториях Бухарского СИФАТ текстильной промышленности и Каганского масложиркомбината определены степень соответствия международным стандартам (вес одной коробочки - 8-9 г), тонина волокна и его разноцветность: светло-желтая, коричневая и солнечно-окрашенная) окраска, скороспелость (113-118-120 дней), длина волокна (1,17-1,24 дюйма), упругость, мягкость, метрический номер, линейная плотность, индекс микронейра (4,1-4,5), тип волокна (III-IV),

урожайность (50-55 ц/га), экологически чистая продуктивность (протеиновая мука, растительное масло, различные экологически чистые лекарственные препараты нового поколения и биологически активные вещества из отходов семенного материала для животноводства, птицеводства, рыбоводства и медицины), масличность (23-26%).

Устойчивость к различным стрессовым условиям (гармсилы, засуха, заморозки, засоление, болезни, вредители) оценивалась в лабораторных и полевых условиях на основе анализа научных показателей его преимуществ со стандартом. Типичность и однородность сорта, путем апробации 3 раза в течение вегетационного периода группа была разделена на семьи и поколения. Кусты, не свойственные сорту, малоурожайные, позднеспелые, с низкими по качественным показателям, неустойчивые к стрессам, были отбракованы.

Наиболее ценные сорта, обладающие наибольшими положительными хозяйственными признаками, технологическими и качественными показателями, устойчивостью к различным природным стрессам, неблагоприятным условиям среды, болезням, вредителям и насекомым, скороспелостью, пригодностью к машинной уборке, крупными размерами хлопковых коробочек, высоким качеством волокна и семян, высокой урожайностью, превосходящие стандартный сорт по получению разноцветные экопродукции, передаются на грунт контроль и Государственной комиссии по сортоиспытанию в качестве новых сортов. Внедряя в производство эти новые экологически чистые сорта хлопка, мы сможем обеспечить более 37-миллионное население нашей страны, растущее в геометрической прогрессии, питательными и целебными, экологически чистыми продуктами питания (белковая мука, растительное масло и натуральное окрашенное волокно), стратегически важным сырьем, получаемым из органов и отходов хлопчатника, таким как ценное цветное волокно, семенное сердцевина и т. д., швейными изделиями, а также в ряде стран мира (Африка) используемыми для профилактики различных заболеваний, таких как дистрофия, рахит и т. д., обусловленных дефицитом белка. Это создаст возможность обеспечить медицину натуральными, чистыми, биологически активными добавками нового поколения. Кроме того, поскольку они имеют естественный цвет, отпадает необходимость в химических красителях для окрашивания других технических сортов в разные цвета и необходимость промывать их в 200 и более литрах воды после окрашивания, а также исключаются аллергические реакции у людей на различные химические красители. Кроме того,

благодаря отсутствию в ядре семян токсичных алкалоидов сокращается процесс очистки масла от различных токсичных веществ на маслодобывающих растениях, и оно получается методом холодного прессования, при этом целебные свойства полезных незаменимых аминокислот, содержащихся в ядре семян (поскольку термический метод не применяется, белки не денатурируются и не переходят из состояния 1 в состояние 2), а также сокращаются (до 45%) затраты труда, электроэнергии, кислоты, бензина и другие затраты на дополнительную очистку.

Выход масла из всех технических сортов хлопка, выращиваемых в Узбекистане, отличается, с одной стороны, высокой (26%, иногда даже выше), с другой стороны, экологической чистотой, а с другой стороны, благодаря методу холодного прессования, что позволяет экономить ресурсы без дополнительных затрат (45%), низкой себестоимостью и целебными свойствами, отсутствием в масле токсичных алкалоидов, а также естественной окраской волокна, что позволяет производить ткани разнообразных цветов без добавления различных химических красителей.

Вывод. Если раньше иностранцы принимали хлопковое масло как техническое масло и белковую муку после очистки от госсипола, то теперь оно признано органической экологически чистой белковой мукой и потребительским маслом, и появилась возможность его приобретения на мировом и местном рынках. Высокий спрос со стороны иностранных покупателей не только на экологически чистое цветное волокно, но и на хлопчатобумажную продукцию приводит к увеличению объема иностранных инвестиций и валютных поступлений в нашу государственную казну. Республика Узбекистан станет одной из первых стран, где будет создан сорт хлопка, полностью отвечающий требованиям мирового рынка по всем показателям и дающий единственный в мире новый биоорганический цветной волокнистый экопродукт. Он также послужит селекционным материалом (донором) для создания новых поколений сортов хлопчатника в будущем, а вся полученная из него органическая биопродукция будет реализовываться по высокой цене, что приведет к увеличению валютных поступлений в государственную казну и увеличению количества иностранных инвестиций.

Области применения исследования: сельское хозяйство (в селекции и семеноводстве).

Список литературы

- 1 *Rajendra Prasad, Desouza Blaise*. Low Gossypol Containing Cottonseed: Not only a Fiber but also a Food Crop. February 2020 National Academy Science Letters 43(2)DOI:10.1007/s40009-020-00931-1
- 2 *Жимулёв И.Ф.* Общая и молекулярная генетика [Электронный ресурс] : учебное пособие для вузов / И.Ф. Жимулёв. — Электрон. текстовые данные. — Новосибирск: Сибирское университетское издательство, 2017. — 480 с. — 978-5-379-02003-3. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/65279.html>
- 3 *Горбунов В.Н. [и др.]*. Клиническая генетика [Электронный ресурс] : учебник /— Электрон. текстовые данные. — СПб. : Фолиант, 2015. — 408 с. — 978-5-93929-261-0. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/61918.html>
- 4 Сборник задач по молекулярной биологии и медицинской генетике с решениями [Электронный ресурс] : учебное пособие / . — Электрон. текстовые данные. — Самара: РЕАВИЗ, 2012. — 168 с. — 2227-8397. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/18421.html>
- 5 *Сетубал Ж.* Введение в вычислительную молекулярную биологию [Электронный ресурс] / Ж. Сетубал, Ж. Мейданис. — Электрон. текстовые данные. — Москва, Ижевск: Регулярная и хаотическая динамика. Ижевский институт компьютерных исследований, 2007. — 420 с. — 978-5-93972-623-8. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/16497.html>
- 6 *Тузова Р. В.* Молекулярно-генетические механизмы эволюции органического мира. Генетическая и клеточная инженерия [Электронный ресурс] : монография / Р.В. Тузова, Н.А. Ковалев. — Электрон. текстовые данные. — Минск: Белорусская наука, 2010. — 395 с. — 978-985-08-1186-8. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/10115.html>
- 7 *Гончарова Р.И. и др.* Геномная нестабильность и нарушение репарации ДНК как факторы наследственной и соматической патологии человека [Электронный ресурс] — Электрон. текстовые данные. — Минск: Белорусская наука, 2015. — 283 с. — 978-985-081859-1. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/50805.html>
- 8 *Жимулев И. Ф.* Общая и молекулярная генетика: учеб. пособие для вузов / Жимулев Игорь Федорович; отв. ред. Е. С. Беляева, А. П. Акифьев. - Новосибирск : Новосиб. ун-т : Сиб. унив. изд-во, 2002. - 458 с.
- 9 *Льюин Б.* Гены / Льюин Бенджамин; пер. 9-го англ. изд. И. А. Кофиади и др.; под ред. Д. В. Ребрикова. - М. : Бином. Лаборатория знаний, 2012. - 896 с. :
- 10 *Хендерсон М.* Генетика. 50 идей, о которых нужно знать : пер. с англ. / Хендерсон Марк. - М. : Фантом Пресс, 2016. - 208 с.
- 11 *Курбонов А.* Хлопчатник виды и сорта. Заменит ли цветной хлопок белый: мнение эксперта. Даракчи №48, Ташкент: 1.12.2022 [Электронный ресурс]: <https://trikotazh-ryad.ru/blog/Khlopchatnik-vidy-i-sorta/>
- 12 Австралийские ученые создали цветной хлопчатник. [Электронный ресурс]: <https://glavagronom.ru/news/avstraliyskie-uchenye-sozdali-cvetnoy-hlopchatnik> (08.08.2020)

- 13 Российские ученые создали бороволокнистый сорт хлопчатника для производства гипоаллергенной ткани, [Электронный ресурс]: <https://glavagronom.ru/news/Uchenye-sozdali-burovoloknistyj-sort-hlopchatnika-dlya-proizvodstva-gipoallergennoj-tkani> 31.10.(2019)
- 14 Цветной хлопок с поля: Ученые вырастили уникальный вид хлопкового растения. [Электронный ресурс]: [https://uzts.uz/ru/cvetnoj-hlopok-s-polya-uchenye-vyrastili-unikalnyj-vid-hlopkovogo-rasteniya/8.08.\(2020\)](https://uzts.uz/ru/cvetnoj-hlopok-s-polya-uchenye-vyrastili-unikalnyj-vid-hlopkovogo-rasteniya/8.08.(2020))
- 15 *Ikramova M. L., Rakhmatov B. N., Ruzieva S.R., Makhudov S.I.* Creating Finely Fibred Non-Gossypol Organic Cotton Published: August 25, 7p (2023). [Электронный ресурс]: <https://bioresscientia.com/journals/clinical-case-reports-and-studies/current-issues>
- 16 Методика полевых и вегетационных опытов с хлопчатником. СОЮЗНИКИ, Ташкент, 225. (1973).
- 17 Методика постановки полевых опытов. УзЦНИИ, Ташкент, 147. (2007).
- 18 *Симонгулян Н.С., Мухамедов С.Р., Шафрин А.Н.* (1987). Генетика, селекция и семеноводство хлопчатника. 3-е изд. Доп. Мехнат, Ташкент, 320.
- 19 *Симонгулян Н.С.* Комбинационная способность и наследуемость признаков хлопчатника. Изд., Фан, Ташкент, 145. (1997).
- 20 *Доспехов Б.А.* Методика проведения полевых опытов. Колос, Москва, 416. (1989).

References

- 1 *Rajendra Prasad, Desouza Blaise.* Low Gossypol Containing Cottonseed: Not only a Fibre but also a FoodCrop. February 2020 National Academy Science Letters 43(2) DOI:10.1007/s40009-020-00931-1
- 2 *Zhimulev I.F.* General and Molecular Genetics [Electronic resource]: a textbook for universities / I.F. Zhimulev. - Electronic text data. - Novosibirsk: Siberian University Publishing House, 2017. - 480 p. - 978-5-379-02003-3. - [Electronic resource]: Access mode: <http://www.iprbookshop.ru/65279.html>
- 3 *Gorbunova V.N.* Clinical Genetics [Electronic resource]: textbook / [et al.]. - Electronic text data. - St. Petersburg: Foliant, 2015. - 408 p. - 978-5-93929-261-0. - [Electronic resource]: Access mode: <http://www.iprbookshop.ru/61918.html>
- 4 Collection of problems in molecular biology and medical genetics with solutions [Electronic resource]: study guide / . — Electronic text data. — Samara: REAVIZ, 2012. — 168 p. — 2227-8397. — Access mode: <http://www.iprbookshop.ru/18421.html>
- 5 *Setubal J.* Introduction to Computational Molecular Biology [Electronic resource] / J. Setubal, J. Meidanis. — Electronic text data. — Moscow, Izhevsk: Regular and Chaotic Dynamics, Izhevsk Institute of Computer Research, 2007. — 420 p. — 978-5-93972-623-8. — Access mode: <http://www.iprbookshop.ru/16497.html>
- 6 *Tuzova R.V.* Molecular-genetic mechanisms of evolution of the organic world. Genetic and cellular engineering [Electronic resource]: monograph / R.V. Tuzova, N.A. Kovalev. - Electronic text data. - Minsk: Belarusian Science, 2010. - 395 p. - 978-985-08-1186-8. - Access mode: <http://www.iprbookshop.ru/10115.html>

- 7 *Goncharova R.I. [et al.]*. Genomic instability and impaired DNA repair as factors of hereditary and somatic pathology in humans [Electronic resource] / - Electronic text data. - Minsk: Belarusian Science, 2015. - 283 p. - 978-985-081859-1. - Access mode: <http://www.iprbookshop.ru/50805.html>
- 8 *Zhimulev I. F.* General and Molecular Genetics: a textbook for universities / Zhimulev Igor Fedorovich; eds. E. S. Belyaeva, A. P. Akifev. - Novosibirsk: Novosib. University: Sib. University Press, 2002. - 458 p.
- 9 *Lewin B.* Genes / Lewin Benjamin; trans. of the 9th English ed. by I. A. Kofiadi et al.; edited by D. V. Rebrikov. - Moscow: Binom. Laboratory of Knowledge, 2012. - 896 p.:
- 10 *Henderson M.* Genetics. 50 ideas you need to know: trans. from English / Henderson Mark. - M.: Phantom Press, 2016. - 208 p.
11. *Kurbonov A.* Will colored cotton replace white: expert opinion. Darakchi No. 48, T.: 1.12.2022 <https://trikotazh-ryad.ru/blog/Khlopchatnik-vidy-i-sorta/>
- 12 Australian scientists have created colored cotton. (08.08.2020) [Electronic resource]: <https://glavagronom.ru/news/avstraliyskie-uchenye-sozdali-cvetnoy-hlopchatnik>
- 13 Russian scientists have created a brown-fibered variety of cotton for the production of hypoallergenic fabric. [Electronic resource]: <https://glavagronom.ru/news/Uchenye-sozdali-burovoloknistyj-sort-hlopchatnika-dlya-proizvodstva-gipoallergennoj-tkani> 31.10.2019
- 14 Colored cotton from the field: Scientists have grown a unique species of cotton lant.08.08.2020. [Electronic resource]: <https://uzts.uz/ru/cvetnoj-hlopok-s-pol-ya-uchenye-vyrastili-unikalnyj-vid-hlopkovogo-rasteniya/>
- 15 *Ikramova M. L., Rakhmatov B. N., Ruzieva S.R., Maksudov S.I.* Creating Fine-ly Fibred Non-Gossypol Organic Cotton Published: August 25, 7p(2023). [Electronic resource]: <https://bioresscientia.com/journals/clinical-case-reports-and-studies/current-issues>
- 16 Methodology of field and experiments vegetation with cotton. SOYUZNKHI, Tashkent, 225. (1973).
- 17 Methods of passing field experiments. UzCSRI, Tashkent, 147. (2007).
- 18 *Simongulyan N.S., Mukhamedov S.R., Shafrin A.N.* (1987). Genetics, selection and seed production of cotton 3rd edition. Addition. Mekhnat, Tashkent, 320.
- 19 *Simongulyan N.S.* Combination ability and heritability of traits of cotton. Publ., house Fan, Tashkent, 145. (1997).
- 20 *Dospekhov B.A.* Methods of passing field experiments. Kolos, Moscow, 416. (1989).

Благодарность. Выражаем свою благодарность руководству Бухарской Научно-опытной станции научно-исследовательского института селекции, семеноводства и выращивания агротехнологий хлопка, которое предоставило нам все необходимые условия для проведения исследования.

Источник финансирования исследования. Финансирование данной темы осуществлялось за счет авторских отчислений (семенных сборов), учеными Бухарской научно-опытной станции Научно-исследовательского института селекции, семеноводства и выращивания агротехнологий хлопчатника за счет внедрения научно-селекционных разработок (создание новых сортов и районирование этих сортов) в производство.

Serik Z.,¹ Asembayeva M.K.¹

¹Al-Farabi Kazakh National University, Almaty c., Kazakhstan

CHARACTERIZATION OF MASS TRANSFER IN A TERNARY GAS MIXTURE WITH A SPECIFIC COMPONENT DEPENDENT ON PRESSURE

Abstract. This study analyzes the diffusion instability of a ternary gas mixture and its variations depending on pressure. Experimental results under isothermal conditions reveal different mixing regimes, ranging from molecular diffusion to the onset of diffusion instability and conventional convective mixing. The system $0.4163\text{H}_2 + 0.5837\text{N}_2\text{O} - \text{N}_2$ was chosen as the object of study, and analysis was conducted using a two-column method. Although density changes were significantly related to pressure, the nature of component concentration variations was determined by the positioning of nitrous oxide in the upper flask and nitrogen in the lower flask. The results highlight transitional regimes of mixing processes influenced by different pressures and thermodynamic parameters. In the pressure range from atmospheric (~ 0.093 MPa) to approximately 0.4 MPa, a process characteristic of molecular diffusion was observed in component concentrations. This was confirmed by the agreement between experimental data and calculations using the Stefan-Maxwell equations. Furthermore, during the study, it was observed that the lack of separation between mixture components during convective mixing was due to the non-ideality of the binary component-nitrous oxide which created a density gradient. Consequently, the contribution of convection defining diffusion instability was found to be smaller compared to gravitational concentration-driven transport. The minor unstable disturbances in mechanical equilibrium, along with the assumption of a linear distribution of component concentrations, the neglect of quadratic disturbance terms, and the selection of appropriate unit scales, allowed for the transition to perturbation equations. According to the research findings, experimental data were satisfactorily described by theoretical models in the Rayleigh number plane. This study enhances understanding of the interrelationship between diffusion, instability, and convection in gas mixtures while illustrating how thermodynamic parameter variations influence mixing regimes.

Keywords: molecular diffusion, thermodynamic parameter, Rayleigh number, convective mixing, Stefan-Maxwell.

Introduction. An experimental investigation of mass transfer in an isothermal ternary gas mixture, in which partial density changes occur in accordance with real gas laws for one of the components, demonstrated that in such diffusionally unstable ternary gas mixtures, it is possible to observe not only various types of mixing from molecular diffusion to diffusion instability, followed by conventional convective mixing but also transitional regimes dependent on thermodynamic parameters such as pressure [1].

The purpose of the study. The mixing process was examined using the two-column method for the system $0.4163\text{H}_2 + 0.5837\text{N}_2\text{O} - \text{N}_2$ at different pressures. Despite density differences, the binary mixture exhibited significant changes under pressure, as the component with real properties (nitrous oxide) was consistently located in the upper flask of the apparatus, while nitrogen remained in the lower flask.

Research methods. Analyzing the nature of component concentration variations allowed for the identification of characteristic mixing regimes (see Figure 1).

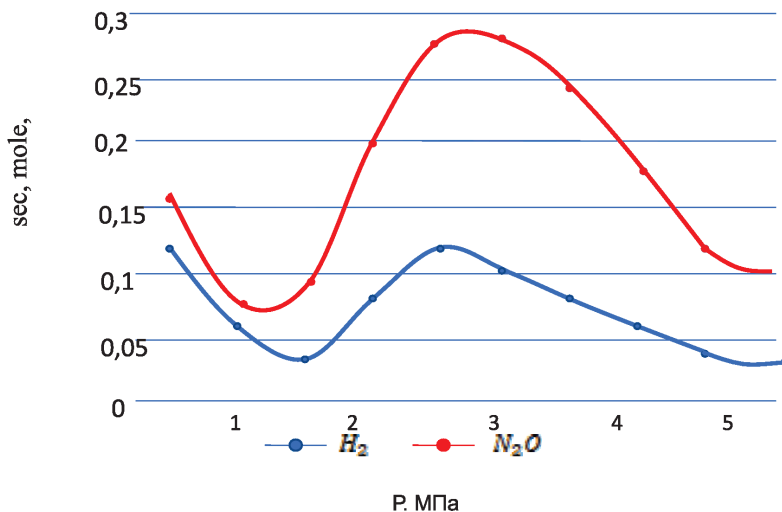


Figure 1 – The amount of hydrogen and nitrous oxide transferred from the upper flask of the apparatus to the lower one under different mixing conditions depending on pressure.

Dots represent experimental data. Solid lines indicate polynomial fittings of varying degrees, while dashed lines correspond to calculations under the diffusion approximation.

$$\sum_{i=1}^3 C_i = 1$$

In the pressure range from atmospheric (~0.093 MPa) to approximately 0.4 MPa, component concentration changes characteristic of molecular diffusion were observed. This was confirmed by the agreement between experimental data and calculations using the Stefan-Maxwell equations. Further pressure increases led to mechanical equilibrium instability in the gas mixture. The transition boundary from "molecular diffusion - diffusion instability" was associated with the shift from molecular transport of components to structured convective flows displaying a pronounced binary mixture separation effect [2]. At a pressure of approximately 1.5 MPa, the binary mixture's density approached that of a pure component, and the mixing intensity reached its maximum. At this point, molecular diffusion became negligible.

Between 1.5 MPa and 3.0 MPa, convective flows associated with diffusion instability on the one hand and conventional convective mixing on the other competed. At pressures of 3.0 MPa and higher, component transfer in the mixture occurred solely through convection. The reason for the lack of separation of mixture components during convective mixing was the non-ideality of the binary component-nitrous oxide which created a density gradient. As a result, the contribution of convection defining diffusion instability was smaller compared to gravity-driven concentration transport.

To describe the experimental results theoretically, previous studies [3-5] were revisited to characterize the onset of mechanical equilibrium instability in a ternary gas mixture undergoing isothermal diffusion in a vertical planar channel. The macroscopic motion of an isothermal gas mixture is described by the following system of equations:

$$\rho \left[\frac{\partial u}{\partial t} + (u \nabla) u \right] = -\nabla \rho + \eta^2 u + \left(\frac{n}{3} + \xi \right) \nabla \text{div} u + \rho g,$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \text{div}(\rho u) = 0, \rho \left(\frac{\partial C_i}{\partial t} + u \nabla C_i \right) = -\text{div} j_i, \quad (1)$$

$$j_i = -\rho(D_{11}^* \nabla C_1 + D_{12}^* \nabla C_2), j_2 = -\rho(D_{21}^* \nabla C_1 + D_{22}^* \nabla C_2),$$

where D_{if}^* , D_{if}^* are "practical" diffusion coefficients (PDC), related to the diffusion coefficients of binary gas mixtures as follows:

$$D_{11}^* = \frac{D_{13}[c_1 D_{32} + (c_2 + c_3) D_{12}]}{c_1 D_{23} + c_2 D_{13} + c_3 D_{12}}, D_{12}^* = -\frac{c_1 D_{23}(D_{12} - D_{13})}{c_1 D_{23} + c_2 D_{13} + c_3 D_{12}},$$

$$D_{22}^* = \frac{D_{23}[c_2 D_{13} + (c_1 + c_3) D_{12}]}{c_1 D_{23} + c_2 D_{13} + c_3 D_{12}}, D_{21}^* = -\frac{c_2 D_{13}(D_{12} - D_{23})}{c_1 D_{23} + c_2 D_{13} + c_3 D_{12}}.$$

Equation (1) is supplemented by the equation of state:

$$\rho = \rho(c_1, c_2, p), T = const,$$

which allows linking the thermodynamic parameters in equation (1).

Taking into account the small unstable disturbances of mechanical equilibrium, assuming a linear distribution of component concentrations in the channel, neglecting quadratic disturbance terms, and selecting appropriate scale units allow the transition from equation (1) to perturbation equations [4, 5]:

$$\rho_{22} \frac{\partial c_1}{\partial t} - u = \tau_{11} \frac{\partial^2 c_1}{\partial x^2} + \frac{A_2}{A_1} \tau_{12} \frac{\partial^2 c_2}{\partial x^2},$$

$$\rho_{22} \frac{\partial c_2}{\partial t} - u = \frac{A_1}{A_2} \tau_{21} \frac{\partial^2 c_1}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 c_2}{\partial x^2}, \quad (2)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + R_1 \tau_{11} c_1 + R_2 c_2,$$

here $\rho_{ii} = \nu/D_{ii}^*$ - Prandtl number, $\nu = \eta/\rho$; $R_i = g\beta_i A_i d^4/\nu D_{ii}^*$ - Rayleigh number
 $\beta_i = -\frac{1}{\rho_0} \left(\frac{\partial \rho}{\partial c_i} \right)_{p,T,c_i \neq c_1}$; $\tau_{ij} = D_{ij}^*/D_{22}^*$; $u = u_z$; $A_i \gamma = -\nabla c_{i0} \gamma$ where γ is the unit vector directed vertically upward, and the index "0" refers to average values.

The solution to equation (2) is given by:

$$\{c_1, c_2, u\} = \{c_1^0, c_2^0, u^0\} \sin \left[(n+1) \frac{\pi}{2} x \right] \exp[-\lambda t], \quad (3)$$

where $n=1,3,5,\dots$ represents odd perturbation modes. The boundary conditions assume the disappearance of velocity and disturbances in the concentration of component c_1 at the vertical planes limiting the gas mixture layer:

$$u=c_1=c_2=0, x=\pm 1 \quad (4)$$

By substituting equation (3) into equation (2), applying the boundary conditions (4), and setting the real part of the perturbation decrement to zero, we obtain the equations for monotonic (5) and oscillatory (6) perturbations of λ :

$$\tau_{11} \left(1 - \frac{A_2}{A_1} \tau_{12}\right) R_1 + \left(\tau_{11} - \frac{A_1}{A_2} \tau_{21}\right) R_2 = \left[(n+1) \frac{\pi}{2}\right]^4 [\tau_{11} - \tau_{12} \tau_{21}], \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \tau_{11} \left[-\frac{A_2}{A_1} \tau_{12} - P_{22} - \tau_{11}\right] R_1 + \left[-\frac{A_1}{2} \tau_{21} - P_{22} - 1\right] R_2 = \left[(n+1) \frac{\pi}{2}\right]^4 \\ \left\{ \frac{1}{P_{22}} [P_{22} [1 + \tau_{11}] + \tau_{11} - \tau_{12} \tau_{21}] [-P_{22} - 1 - \tau_{11}] - \tau_{21} \tau_{12} - \tau_{11} \right\}, \end{aligned} \quad (6)$$

For the studied system, Figure 2 presents the following corresponding to equations (5) and (6): the MM monotonic instability line, the CC oscillatory instability line, and the $\nabla p = 0$ equal density line. Above this line, the density gradient is positive. The same figure also shows the experimental values of the partial Rayleigh numbers, determined using equation (7) [4, 5].

Discussion of the results. When comparing theory with experimental data, the following conditions hold:

1) Component 1 corresponds to hydrogen, the lightest in terms of density; component 2 corresponds to nitrous oxide, the heaviest; and component 3 corresponds to nitrogen, which occupies an intermediate state.

2) The partial Rayleigh numbers for a diffusion channel of radius r and length L , connecting the upper flask I of the apparatus to the lower flask II, are expressed as follows:

$$R_1 = \frac{g n r^4 \Delta m_1 c_1}{\rho \nu D_{11}^* L}, R_2 = \frac{g n r^4 \Delta m_2 c_2}{\rho \nu D_{22}^* L}, \quad (7)$$

$$\Delta c_1 = c_{1I} - c_{1II}, \Delta c_2 = c_{2I} - c_{2II}, \Delta m_1 = m_1 - m_3, \Delta m_2 = m_2 - m_3,$$

(7) Here, m_i – is the molecular mass of the i -th component, and n is the numerical density of the mixture. If the experimental conditions (pressure p , temperature T , composition of the mixture in each flask, and the dimensions of the diffusion channel r and L) are known, then using equation (7), the values of R_1 and R_2 can be determined, thereby

identifying the corresponding point (R_1 , R_2) in the plane representing this experiment. Under certain conditions, the experiment determines whether the diffusion remains stable or becomes unstable.

In Figure 2, we can distinguish the following regions: diffusion (where the experimental values of the Rayleigh numbers are below the MM line) and points above the MM instability line, which characterize growing monotonic disturbances.

When studying a ternary system with a component exhibiting real gas properties, varying the pressure allows an easy transition from the diffusion mixing region to the gravitational concentration convection region. As seen in Figure 2, the experiment confirms theoretical predictions regarding the existence of stable and unstable mechanical equilibrium regions in a ternary gas mixture, where one component undergoes partial density changes with pressure according to real gas laws.

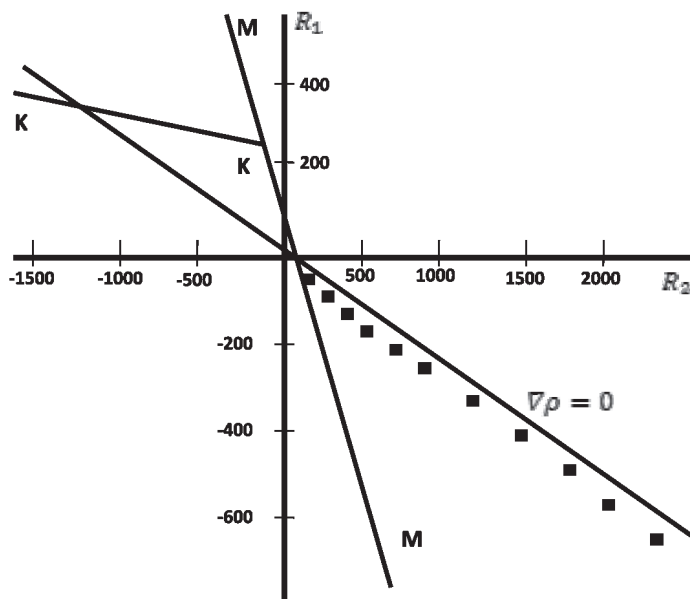


Figure 2 – MM monotonic boundary lines, CC oscillatory instability, and experimental Rayleigh numbers for the system $0.4163\text{H}_2 + 0.5837\text{N}_2\text{O} - \text{N}_2$ at various pressures (0.093–4.5 MPa). Stable diffusion points are lighter, while convection points are darker.

Conclusion. Thus, this study demonstrates that in ternary gas mixtures containing a component with real properties, it is possible to transition from diffusion mixing to gravitational concentration convection by varying pressure. Experimental results confirm the theoretical predictions regarding stable and unstable mechanical equilibrium regions in ternary gas mixtures where one component undergoes partial density variation in accordance with real gas laws.

References

- 1 *Moldabekova M.S., Asembaeva M.K., Krasikov S.A., Nurtay G.F.* Features of diffusion and convective mixing in mixtures containing hydrocarbons// *Journal of Physics: Conference Series*, 2020. №42 1565(1), 012063.
- 2 *Kossov V., Fedorenko O. and Zhakebayev D.J.* Chemical Engineering and Technology// 2019 №42 (4) 896.
- 3 *Zhavrın Yu.I., Asembayeva M.K., Mukamedenkyzy V., Fedorenko O.V.* Temperature Dependence of the Effective Diffusion Coefficients of Components// *Al-Farabi Kazakh National University, Almaty.*
- 4 *Kosov V.N.* Gas Systems Containing Hydrogen, Nitrogen, and Methane in Various Concentrations// *Abai Kazakh National Pedagogical University, Almaty.*
- 5 *Zhavrın Yu.I., Kosov V.N., Kulzhanov D.U., et al.* – Study of Diffusion in Gas Mixtures Containing Components of Ammonia Synthesis // *Journal of Physical Chemistry* – 2001 – Vol. 74, No. 2 – pp. 133-136.

Gratitude. I would like to express my gratitude to the scientific supervisor Asembaeva Mansiya Kabylovna for consultations in preparing the scientific material and writing the article.

* * *

Серік З.¹, Асембаева М. К.¹

¹Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы қ., Қазақстан

ҚЫСЫМҒА БАЙЛАНЫСТЫ ҚҰРАМЫНДА НАҚТЫ КОМПОНЕНТІ БАР ҮШТІК ГАЗ ҚОСПАСЫНДАҒЫ МАССА ТАСЫМАЛЫНЫҢ СИПАТТАМАСЫ

Түйіндеме. Бұл зерттеу үш компонентті газ қоспасының диффузиялық тұрақсыздығын және оның қысымға байланысты өзгерістерін талдайды. Эксперименттік зерттеу нәтижелері бойынша изотермиялық жағдайларда молекулалық диффузиядан бастап, диффузиялық тұрақсыздықтың қалыптасуына және кәдімгі конвективті араластыруға дейінгі әртүрлі араластыру режимдері байқалды. Зерттеу объектісі ретінде $0.4163\text{N}_2 + 0.5837\text{N}_2\text{O}$ - N_2 жүйесі алынып, екі бағаналы әдіспен талдау жүргізілді. Тығыздықтың өзгеруі қысыммен айтарлықтай өзара байланыста болғанымен, құрамындағы азоттың шала тотығы жоғары колбада, ал азот төменгі колбада орналасуы нәтижесінде компоненттердің концентрацияларының өзгеру сипаты анықталды. Нәтижелер араластыру процестерінің әртүрлі қысымдар мен термодинамикалық параметрлерге байланысты өтпелі режимдерін көрсетуімен ерекшеленеді. Атмосфералық қысымнан (шамамен 0,093 МПа) шамамен 0,4 МПа дейін молекулалық диффузияға тән компоненттер концентрациясының өзгеру барысы байқалады. Мұны эксперименттік деректердің Стефан-Максвелл теңдеулерін қолданумен жүргізілген есептеулердің нәтижелерімен сәйкестігі дәлелдейді. Сондай-ақ, зерттеу барысында конвективті араластыру кезінде қоспаның құрамдас бөліктерінің бөлінбеуінің себебі екілік қоспаның құрамдас бөлігі - азоттың шала тотығының мінсіз болмауы тығыздықтың градиентін құруға әкеледі, сондықтан диффузиялық тұрақсыздықты анықтайтын конвекцияның үлесі гравитациялық концентрация конвекциясынан туындаған тасымалдаумен салыстырғанда аз болатындығы байқалды. Механикалық тепе-теңдіктің тұрақсыз бұзылыстарының аздығын компоненттер концентрациясының сызықтық таралуы туралы болжам, квадраттық бұзылу мүшелерін елемей, сәйкес ауқымды өлшем бірліктерін таңдау толқулар теңдеулеріне көшуге мүмкіндік береді. Зерттеу нәтижелері бойынша, эксперименттік деректер Рэлей саны жазықтығындағы теориялық модельдермен қанағаттанарлықтай сипатталды. Бұл зерттеу газ қоспаларындағы диффузия, тұрақсыздық және конвекция процестерінің арақатынасын түсінуге мүмкіндік береді, сондай-ақ термодинамикалық параметрлерінің өзгеруінің араластыру режимдеріне қалай әсер ететінін көрсетеді.

Түйінді сөздер: молекулалық диффузия, термодинамикалық параметр, Рэлей саны, конвективті араластыру, Стефан-Максвелл.

* * *

Серик З.¹, Асембаева М.К.¹

¹Казахский Национальный университет им. аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан

ХАРАКТЕРИСТИКА МАССООБМЕНА В ТРОЙНОЙ ГАЗОВОЙ СМЕСИ С ОПРЕДЕЛЕННЫМ КОМПОНЕНТОМ, ЗАВИСЯЩИМ ОТ ДАВЛЕНИЯ

Аннотация. В этом исследовании анализируется диффузионная неустойчивость трехкомпонентной газовой смеси и ее изменения, связанные с давлением. По результатам экспериментального исследования в изотермических условиях наблюдались различные режимы перемешивания, начиная от молекулярной диффузии и заканчивая формированием диффузионной неустойчивости и обычным конвективным перемешиванием. В качестве объекта исследования была взята система $0.4163\text{H}_2 + 0.5837\text{N}_2\text{O} - \text{N}_2$ и проведен анализ двухколонным методом. Хотя изменение плотности существенно коррелирует с давлением, в результате расположения закиси азота в колбе с высоким содержанием, а азота в колбе с низким содержанием, был определен характер изменения концентраций компонентов. Результаты отличаются тем, что процессы перемешивания демонстрируют переходные режимы в зависимости от различных давлений и термодинамических параметров. При атмосферном давлении (около 0,093 МПа) наблюдается изменение концентрации компонентов, характерных для молекулярной диффузии, примерно до 0,4 МПа. Об этом свидетельствует соответствие экспериментальных данных результатам расчетов с использованием уравнений Стефана-Максвелла. И в ходе исследования было замечено, что причина, по которой компоненты смеси не разделяются при конвективном перемешивании, заключается в том, что отсутствие идеального оксида азота, компонента двойной смеси, приводит к созданию градиента плотности, поэтому доля конвекции, определяющей диффузионную неустойчивость, меньше по сравнению с переносом, вызванным конвекцией гравитационных концентраций. Предположение о линейном распределении концентраций компонентов при малом числе неустойчивых нарушений механического равновесия, игнорирование членов квадратичного возмущения, выбор соответствующих масштабных единиц измерения позволяют перейти к уравнениям возмущений. По результатам исследования экспериментальные данные были удовлетворительно охарактеризованы теоретическими моделями в плоскости числа Рэлея. Это исследование позволяет понять соотношение процессов диффузии, неустойчивости и конвекции в газовых смесях, а также показывает, как изменения термодинамических параметров влияют на режимы смешивания.

Ключевые слова: молекулярная диффузия, термодинамический параметр, число Рэлея, конвективное перемешивание, Стефан-Максвелл.

Авторлар туралы мәліметтер

Серік Зулина – докторант, Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы қ., Қазақстан, serik.zulina@mail.ru

Асембаева Мансия Кабыловна – физика-математика ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы қ., Қазақстан, m.aseмбаeva@physics.kz

Сведения об авторах

Серик Зулина – докторант, Казахский Национальный университет имени аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан, serik.zulina@mail.ru

Асембаева Мансия Кабыловна – кандидат физико-математических наук, ассоциированный профессор, Казахский национальный университет имени аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан, m.aseмбаeva@physics.kz

Information about the authors

Serik Zulina – doctoral student, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty c., Kazakhstan, serik.zulina@mail.ru

Asembaeva Mansia Kabylovna – Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty c., Kazakhstan, m.aseмбаeva@physics.kz

МАҚАЛАНЫҢ АУДАРМАСЫ / ПЕРЕВОД СТАТЫИ

Серік З.¹, Асембаева М. К.¹

¹Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы қ., Қазақ-стан

ҚЫСЫМҒА БАЙЛАНЫСТЫ ҚҰРАМЫНДА НАҚТЫ КОМПОНЕНТІ БАР ҮШТІК ГАЗ ҚОСПАСЫНДАҒЫ МАССА ТАСЫМАЛЫНЫҢ СИПАТТАМАСЫ

Түйіндеме. Бұл зерттеу үш компонентті газ қоспасының диффузиялық тұрақсыздығын және оның қысымға байланысты өзгерістерін талдайды. Эксперименттік зерттеу нәтижелері бойынша изотермиялық жағдайларда молекулалық диффузиядан бастап, диффузиялық тұрақсыздықтың қалыптасуына және кәдімгі конвективті араластыруға дейінгі әртүрлі араластыру режимдері байқалды. Зерттеу объектісі ретінде $0.4163\text{N}_2 + 0.5837\text{N}_2\text{O}$ - N_2 жүйесі алынып, екі бағаналы әдіспен талдау жүргізілді. Тығыздықтың өзгеруі қысыммен айтарлықтай өзара байланыста болғанымен, құрамындағы азоттың шала тотығы жоғары колбада, ал азот төменгі колбада орналасуы нәтижесінде компоненттердің концентрацияларының өзгеру сипаты анықталды. Нәтижелер араластыру процестерінің әртүрлі қысымдар мен термодинамикалық параметрлерге байланысты өтпелі режимдерін көрсетуімен ерекшеленеді.

Атмосфералық қысымнан (шамамен 0,093МПа) шамамен 0,4МПа дейін молекулалық диффузияға тән компоненттер концентрациясының өзгеру барысы байқалады. Мұны эксперименттік деректердің Стефан-Максвелл теңдеулерін қолданумен жүргізілген есептеулердің нәтижелерімен сәйкестігі дәлелдейді. Және зерттеу барысында конвективті араластыру кезінде қоспаның құрамдас бөліктерінің бөлінбеуінің себебі екілік қоспаның құрамдас бөлігі - азоттыңшала тотығының мінсіз болмауы тығыздықтың градиентін құруға әкеледі, сондықтан диффузиялық тұрақсыздықты анықтайтын конвекцияның үлесі гравитациялық концентрация конвекциясынан туындаған тасымалдаумен салыстырғанда аз болатындығы байқалды. Механикалық тепе-теңдіктің тұрақсыз бұзылыстарының аздығын компоненттер концентрациясының сызықтық таралуы туралы болжам, квадраттық бұзылу мүшелерін елемей, сәйкес ауқымды өлшем бірліктерін таңдау толқулар теңдеулеріне көшуге мүмкіндік береді.

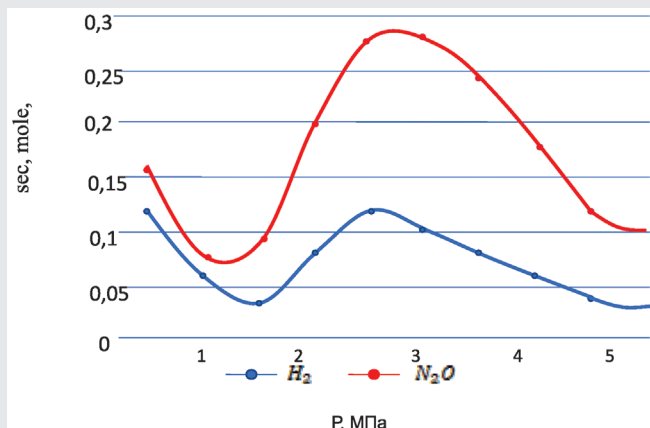
Зерттеу нәтижелері бойынша, эксперименттік деректер Рэлей саны жазықтығындағы теориялық модельдермен қанағаттанарлықтай сипатталды. Бұл зерттеу газ қоспаларындағы диффузия, тұрақсыздық және конвекция процестерінің арақатынасын түсінуге мүмкіндік береді, сондай-ақ термодинамикалық параметрлердің өзгеруі араластыру режимдеріне қалай әсер ететінін көрсетеді.

Түйінді сөздер: молекулалық диффузия, термодинамикалық параметр, Рэлей саны, конвективті араластыру, Стефан-Максвелл

Кіріспе. Компоненттердің бірінде нақты газ заңдарына сәйкес қысыммен ішінара тығыздықтың өзгеруі болатын изотермиялық үш компонентті газ қоспасындағы массаның тасымалдануын эксперименттік зерттеу мұндай диффузиялық тұрақсыз үштік газ қоспаларында молекулалық диффузиядан диффузиялық тұрақсыздыққа, содан кейін кәдімгі конвективті араластыруға дейінгі әртүрлі араластыру түрлерін ғана емес, сондай-ақ қысым сияқты термодинамикалық параметрге байланысты өтпелі режимдерді де байқауға болатынын көрсетті [1].

Зерттеудің мақсаты. Араластыру процесін зерттеу әртүрлі қысым кезінде $0,4163\text{H}_2 + 0,5837\text{N}_2\text{O} - \text{N}_2$ жүйесі үшін екі бағаналы әдіспен жүргізілді. Тығыздыққа қарамастан, бинарлық қоспа қысыммен айтарлықтай өзгерді, өйткені оның құрамында нақты қасиеттері бар компонент (азоттың шала тотығы) әрқашан құрылғының жоғарғы колбасында, ал азот төменгі колбасында орналасты.

Зерттеу әдістері. Компоненттердің концентрациясының өзгеру сипаты бойынша алынған нәтижелерді талдау тән араластыру режимдерін анықтады (1-суретті қараңыз).



1-сурет. Қысымға байланысты әртүрлі араластыру түрлерінде аппараттың жоғарғы колбасынан азотқа ауысқан сутегі мен азоттың шала тотығының мөлшері. Нүктелер-эксперименттік деректер.

Жазық сызықтар – нәтижелерді әртүрлі дәрежелі көпмүшеліктермен өңдеу. Нүктелі сызықтар – [2] сәйкес диффузия болжамындағы есептеу. Үшінші компонент-азоттың концентрациясын

$$\sum_{i=1}^3 C_i = 1$$

шартын қолдана отырып есептеуге болады (бұнда C_i - i компоненттің моль үлесі).

Атмосфералық қысымнан (шамамен 0,093МПа) шамамен 0,4МПа дейін молекулалық диффузияға тән компоненттер концентрациясының өзгеру барысы байқалады. Мұны эксперименттік деректердің Стефан-Максвелл теңдеулерін қолданумен жүргізілген есептеулердің нәтижелерімен сәйкестігі дәлелдейді [2]. Қысымның одан әрі жоғарылауы газ қоспасының механикалық тепе теңдігінің тұрақсыздығына әкеледі. «Молекулалық диффузия -диффузиялық тұрақсыздық» шекаралық ауысуы компоненттердің молекулалық тасымалдануынан екілік қоспаны бөлудің айқын әсерімен құрылымдық конвективті ағымдарға ауысумен байланысты. Шамамен 1,5 МПа қысымда екілік қоспаның тығыздығы таза компоненттің тығыздығына айналады және араластыру қарқындылығы максимумға жетеді. Бұл ретте, компоненттердің берілуін молекулалық диффузияны елемеуге болады.

1,5 МПа және 3,0 МПа аралығындағы қысымда бір жағынан диффузиялық тұрақсыздықпен байланысты конвективті ағындар, екінші жағынан әдеттегі конвективті араласу бәсекелеседі. 3,0 МПа және одан жоғары қысымда қоспаның компоненттерін тасымалдау тек конвекция арқылы жүзеге асырылады. Конвективті араластыру кезінде қоспаның құрамдас бөліктерінің бөлінбеуінің себебі екілік қоспаның құрамдас бөлігі - азоттыңшала тотығының мінсіз болмауы тығыздықтың градиентін құруға әкеледі, сондықтан диффузиялық тұрақсыздықты анықтайтын конвекцияның үлесі гравитациялық концентрация конвекциясынан туындаған тасымалдаумен салыстырғанда аз болды.

Эксперименттік нәтижелерді теориямен сипаттау үшін [3-5] жазықтік каналдағы изотермиялық диффузия кезінде үш компонентті газ қоспасының механикалық тепе-теңдігінің тұрақсыздығының пайда болуын сипаттайтын пайымдауларды қайталаймыз. Изотермиялық газ қоспасының макроскопиялық қозғалысы келесі теңдеулер жүйесімен сипатталады:

$$\rho \left[\frac{\partial u}{\partial t} + (u \nabla) u \right] = -\nabla p + \eta^2 u + \left(\frac{n}{3} + \xi \right) \nabla \operatorname{div} u + \rho g, \quad (1)$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \operatorname{div}(\rho u) = 0, \rho \left(\frac{\partial C_i}{\partial t} + u \nabla C_i \right) = -\operatorname{div} d j_i,$$

$$j_i = -\rho(D_{11}^* \nabla c_1 + D_{12}^* \nabla c_2), j_2 = -\rho(D_{21}^* \nabla c_1 + D_{22}^* \nabla c_2),$$

бұнда D_{if}^* D_{if}^* "практикалық" диффузия коэффициенттері (ПДК) D_{if}^* бинарлық газ қоспаларының диффузиялық коэффициенттерімен келесі қатынастармен байланысты:

$$D_{11}^* = \frac{D_{13}[c_1 D_{32} + (c_2 + c_3) D_{12}]}{c_1 D_{23} + c_2 D_{13} + c_3 D_{12}}, D_{12}^* = -\frac{c_1 D_{23}(D_{12} - D_{13})}{c_1 D_{23} + c_2 D_{13} + c_3 D_{12}},$$

$$D_{22}^* = \frac{D_{23}[c_2 D_{13} + (c_1 + c_3) D_{12}]}{c_1 D_{23} + c_2 D_{13} + c_3 D_{12}}, D_{21}^* = -\frac{c_2 D_{13}(D_{12} - D_{23})}{c_1 D_{23} + c_2 D_{13} + c_3 D_{12}}.$$

(1) теңдеулер орта күйінің теңдеуімен толықтырылады

$p=p(c_1, c_2, p)$, $T=const$, ол термодинамикалық параметрлерді (1) байланыстыруға мүмкіндік береді.

Механикалық тепе-теңдіктің тұрақсыз бұзылыстарының аздығын есепке алу, арнадағы компоненттер концентрациясының сызықтық таралуы туралы болжам, квадраттық бұзылу мүшелерін елемей, сәйкес ауқымды өлшем бірліктерін таңдау (1) толқулар теңдеулеріне көшуге мүмкіндік береді [4, 5]:

$$\rho_{22} \frac{\partial c_1}{\partial t} - u = \tau_{11} \frac{\partial^2 c_1}{\partial x^2} + \frac{A_2}{A_1} \tau_{12} \frac{\partial^2 c_2}{\partial x^2}, \quad (2)$$

$$\rho_{22} \frac{\partial c_2}{\partial t} - u = \frac{A_1}{A_2} \tau_{21} \frac{\partial^2 c_1}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 c_2}{\partial x^2},$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + R_1 \tau_{11} c_1 + R_2 c_2,$$

бұнда $\rho_{ii} = \nu / D_{ii}^*$ – Прандтль саны, $\nu = \eta / \rho$; $R_i = g \beta_i A_i d^4 / \nu D_{ii}^*$ – Рэлей саны $\beta_i = -\frac{1}{\rho_0} \left(\frac{\partial \rho}{\partial c_i} \right)_{P, T, c_1 \neq c_1}$; $\tau_{ij} = D_{ij}^* / D_{22}^*$; $u = u_z$; $A_i \gamma = -\nabla c_{i0} \gamma$ – тігінен жоғары бағытталған бірлік вектор, «0» индексі орташа мәндерге жатады.

Шешім (2) келесідей болады:

$$\{c_1, c_2, u\} = \{c_1^0, c_2^0, u^0\} \sin \left[(n+1) \frac{\pi}{2} x \right] \exp[-\lambda t], \quad (3)$$

бұнда $n=1, 3, 5, \dots$ – тақ буырқану режимдері. Шекаралық жағдайлар газ қоспасының қабатын шектейтін тік жазықтықтарда c_1 компоненттері концентрациясының жылдамдығы мен бұзылуының жоғалуын болжайды:

$$u=c_1=c_2=0, x=\pm 1 \quad (4)$$

(3)-ді (2) алмастыра отырып, (4) және буырқанудекрементінің нақты бөлігін нөлге айналдыру кезінде монотонды (5) және тербелмелі (6) толқулар лтеңдеулерін аламыз:

$$\tau_{11} \left(1 - \frac{A_2}{A_1} \tau_{12} \right) R_1 + \left(\tau_{11} - \frac{A_1}{A_2} \tau_{21} \right) R_2 = \left[(n+1) \frac{\pi}{2} \right]^4 [\tau_{11} - \tau_{12} \tau_{21}], \quad (5)$$

$$\tau_{11} \left[-\frac{A_2}{A_1} \tau_{12} - P_{22} - \tau_{11} \right] R_1 + \left[-\frac{A_1}{A_2} \tau_{21} - P_{22} - 1 \right] R_2 = \left[(n+1) \frac{\pi}{2} \right]^4 \left\{ \frac{1}{P_{22}} [P_{22} [1 + \tau_{11}] + \tau_{11} - \tau_{12} \tau_{21}] [-P_{22} - 1 - \tau_{11}] - \tau_{21} \tau_{12} - \tau_{11} \right\}, \quad (6)$$

Зерттелетін жүйе үшін 2-суретте (5) және (6) сәйкес мыналар ұсынылған: ММ монотонды тұрақсыздық сызығы, КК тербелмелі тұрақсыздық сызығы және $\nabla p=0$ тең тығыздық сызығы. Осы сызықтан жоғары тығыздық градиенті оң. Сол суретте (7) формулалар бойынша орналасқан Рэлейдің ішінара сандарының тәжірибелі мәндері көрсетілген [4, 5].

Теорияны тәжірибелі мәліметтермен салыстырған кезде, келесі шарттар болады:

1) 1 нөмірі қоспаның тығыздығы бойынша ең жеңіл компоненті сүтегіге, 2 нөмірі ең ауыр – азоттың шала тотығына, ал 3 нөмірі аралық күйді алатын компонент-азотқа сәйкес келеді;

2) радиусы r және ұзындығы L болатын диффузиялық арнаға I аспаптың жоғарғы колбасын төменгі колбамен II қосатын Рэлейдің ішінара сандары келесідей жазылады:

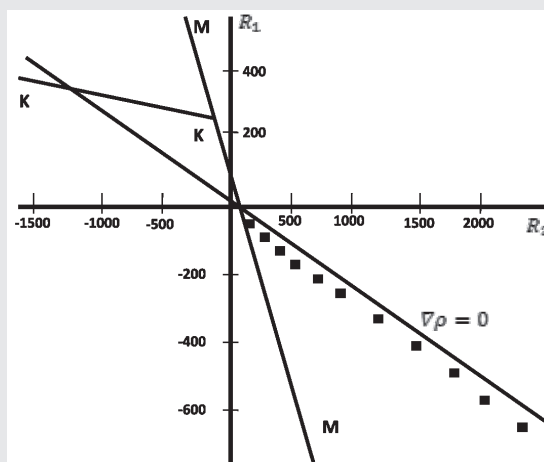
$$R_1 = \frac{g n r^4 \Delta m_1 c_1}{\rho \nu D_{11}^* L}, R_2 = \frac{g n r^4 \Delta m_2 c_2}{\rho \nu D_{22}^* L}, \quad (7)$$

$$\Delta c_1 = c_{1I} - c_{1II}, \Delta c_2 = c_{2I} - c_{2II}, \Delta m_1 = m_1 - m_3, \Delta m_2 = m_2 - m_3,$$

бұнда m_i – i -сұрып молекуласының массасы, n – қоспаның сандық тығыздығы. Егер тәжірибе жүргізу шарттары (қысым p , температура T , колбалардың әрқайсысындағы қоспалардың құрамы, диффузиялық арна өлшемдері r және L) белгілі болса, онда (7) формулалары бойынша R_1 , R_2 табуға болады және осылайша осы тәжірибені бейнелейтін жазықтықтағы нүктені анықтауға болады (R_1 , R_2). Тәжірибеден белгілі бір жағдайларда диффузияның қандай екендігі белгілі – тұрақты немесе тұрақсыз.

2-суретте келесі бағыттарды атап өтейік – диффузиялар (Рэлей сандарының эксперименттік мәндері MM сызығынан төмен орналасқан), сондай-ақ өсіп келе жатқан монотонды бұзылуларды сипаттайтын MM тұрақсыздық сызығынан жоғары нүктелер.

Нақты қасиеттері бар компоненті бар үштік жүйеде қоспаны зерттеу кезінде қысымды өзгерту арқылы диффузиялық араластыру аймағынан гравитациялық концентрация конвекциясы аймағына оңай ауысуға болады. 2-суреттен көріп отырғаныңыздай, эксперимент үштік газ қоспасында тұрақты және тұрақсыз механикалық тепе-теңдік аймақтарының болуы туралы теориялық болжамдарды растайды, онда компоненттердің бірінде нақты газ заңдарына сәйкес қысыммен ішінара тығыздықтың өзгеруі болады.



2-сурет. MM монотонды шекаралық сызықтары, тұрақсыздықтың тербелмелі KK және $\nabla\rho=0$, сондай-ақ әр түрлі қысымда (0,093-тен 4,5 МПа-ға дейін) $0,4163N_2 + 0,5837N_2O - N_2$ жүйесінің релелік сандарына арналған эксперименттік нүктелер. Тұрақты диффузия нүктелері ақшыл, ал конвекциялар күңгірт.

Қорытынды. Осылайша, жүргізілген зерттеулерден құрамында нақты қасиеттерімен компоненті бар үштік газ қоспаларында араластырудың әртүрлі түрлерін ғана емес, сондай-ақ қысым сияқты термодинамикалық өлшемшарттарға байланысты өтпелі режимдерді де байқауға болады. Эксперименттік деректерді Рэлей сандары жазықтығындағы теория қанағаттанарлықтай сипаттады.

Әдебиеттер / References

- 1 Features of diffusion and convective mixing in mixtures containing hydrocarbons Moldabekova M.S., Asembaeva M.K., Krasikov S.A., Nurtay G.F. Journal of Physics: Conference Series, 2020, 1565(1), 012063
- 2 Kossov V., Fedorenko O. and Zhakebayev D. 2019 J. Chemical Engineering and Technology 42 (4) 896
- 3 Жаврин Ю.И., Асембаева М.К., Мукамеденкызы В., Федоренко О. В. Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Температурные зависимости эффективных коэффициентов диффузии компонентов
- 4 Косов В.Н. Диффузии компонентов, содержащие водород, азот, метан в различных концентрациях, Казахский национальный педагогический университет им. Абая, Алматы
- 5 Жаврин Ю.И., Косов В.Н., Кульжанов Д.У. и др. Исследование диффузии в газовых смесях, содержащих компоненты синтеза аммиака // ИФЖ. – 2001. – Т. 74, № 2. – С. 133-136.

Алғыс. Ғылыми материалды дайындауға және мақаланы жазуға кеңес бергені үшін ғылыми жетекші Әсембаева Мәнсия Қабылқызына алғысымды білдіремін.

Mukamedenkyzy V.¹, Tolepbergen A.G.¹, Akberdiev B.², Altenbah H.³

¹Al-Farabi Kazakh National University, Almaty c., Kazakhstan

²Abai Kazakh National Pedagogical University, Almaty c., Kazakhstan

³Otto-von-Guericke-Universität, Magdeburg c., Germany

ANALYSIS OF CONVECTIVE FLOWS DURING ISOTHERMAL MIXING OF THREE-COMPONENT GAS MIXTURES BY COMPUTER SIMULATION

Abstract. In multicomponent gas mixtures, there is a wide variety of mixing regimes. A key challenge is determining the boundary between diffusion and convection regimes, as well as identifying the parameters that define the convective mode, which plays a crucial role in mass transfer processes. This study presents a computational model for examining isothermal diffusion transport in three-component gas mixtures. The analysis focuses on the relationship between transport coefficients over time using a three-dimensional numerical simulation in a vertical cylindrical channel with finite dimensions. By separating the physical parameters of the studied system, the isothermal diffusion mixing process in three-component gas mixtures within cylindrical vertical channels is investigated. The results indicate that in systems where the diffusion coefficients of the components are comparable, mechanical equilibrium is unstable. In cases where there is a significant difference in diffusion coefficients, convective motion may emerge. Initially, these convective flows develop at low speeds, but they eventually evolve into structured flow patterns. The computational results align well with experimental data, supporting the proposed approach for determining the boundary between diffusion and concentration-driven convection regimes in gas mixtures.

Keywords: diffusion, convection, gases, computational modeling.

Introduction. Multicomponent gas mixtures exhibit a wide variety of mixing mechanisms, ranging from purely molecular diffusion to complex convective flows. The nature and intensity of mass transfer in such systems depend on the dominant transport processes, which can be molecular, convective, or a combination of both [1,2]. In many practical scenarios, the role of molecular diffusion is often considered secondary to convective effects. However, diffusion alone can sometimes lead to instability, disrupting the mechanical equilibrium of the system. This instability may result in the spontaneous formation of convective motion, significantly en-

hancing the overall efficiency of mass transfer [3]. Understanding these processes is essential for accurately predicting mixing behavior in various applications, such as chemical engineering, environmental sciences, and industrial gas separation technologies.

One of the critical challenges in studying mass transfer in multicomponent gas mixtures is identifying the conditions under which diffusion-driven mixing transitions into convective motion. Unlike traditional thermal convection, where fluid motion is driven by temperature gradients, concentration-driven convection can arise purely from differences in diffusion rates between gas components [4,5]. This phenomenon has been observed not only in classical Rayleigh-type stratification problems but also in cases where stable density stratification theoretically prevents large-scale motion. Experimental and numerical studies have shown that, in certain conditions, diffusion alone can generate convective flows, leading to the development of structured flow patterns that significantly alter the expected mixing dynamics.

Previous research on multicomponent gas mixing has demonstrated that convective motion can emerge due to differences in diffusion coefficients between components [6-8]. When the diffusion rates of different gases vary significantly, the resulting imbalance can trigger flow patterns resembling a sedimentation effect, where heavier and lighter components separate dynamically [9-12]. This effect introduces additional complexity in predicting and modeling mass transfer in such systems, making it essential to develop computational approaches that accurately capture the interplay between diffusion and convection [13,14].

To address these challenges, this study presents a computational model designed to investigate the diffusion-driven transport of gases under isothermal conditions. The focus is on three-component gas mixtures with varying transport properties, analyzed through a two-dimensional numerical simulation of a vertical cylindrical channel with finite dimensions [15]. The numerical results are systematically compared with experimental data to validate the approach and improve our understanding of the mechanisms governing the transition from diffusion to convective mixing [16].

Materials and methods. By exploring the interplay between diffusion and convection in multicomponent gas mixtures, this research aims to provide valuable insights into the fundamental principles of mass transfer in such systems. The findings may have significant implications for optimizing industrial processes, refining theoretical models of gas transport,

and developing more efficient strategies for controlling mixing dynamics in practical applications. The objective of this study is to conduct a numerical simulation of the transition from a purely diffusive state to a convective state in a multicomponent system, where mechanical equilibrium instability is observed. This simulation will be performed using the ANSYS Fluent software package [17]. Additionally, the study aims to compare the numerical results with experimental data. Through this analysis, we seek to gain deeper insights into the mechanisms governing the shift between diffusion and convection and to develop recommendations for a more precise characterization of mixing processes in multicomponent systems.

Problem statement and setup algorithm. Figure 1 illustrates the schematic representation of the diffusion cell (DC) utilized in the two-flask apparatus, where concentration measurements were conducted to study both diffusive and convective mixing processes [11]. The experimental method enabled the capture of shadow images of structural formations, as demonstrated in [17], allowing for a rapid identification of the mixing type and facilitating comparisons with numerical simulation results. During the numerical modeling process, it was assumed that, initially, the upper chamber of the apparatus contained a gas mixture with a chemical composition different from that of the gas in the lower chamber. Additionally, it was considered that, at the initial moment, the density of the three-component mixture decreased with height.

The model's analyzed region comprises three primary components: the upper cylinder, the lower cylinder, and the diffusion channel connecting them. This structure serves as the foundation for examining the mechanisms governing mass transfer and the transition between diffusive and convective mixing regimes. The cylinder volumes were assumed to be the same $V_{up} = V_{lower} = 227 \times 10^{-6} m^3$ and the dimensions of the diffusion channel are as follows: $d = 6.1 \times 10^{-3} m$ – diameter, $L = 165 \times 10^{-3} m$ – height.

In this study, a hybrid mesh model was employed, where triangular elements were used to discretize the upper and lower cylinders, and square elements were applied to discretize the diffusion channel. This combination ensures an efficient adaptation to the different geometrical characteristics of the system components.

The grid element size was set to 1.5 mm to achieve a detailed representation of the geometry and ensure the convergence of the numerical solution. The total number of grid elements reached 404 395, which demonstrates the model's high resolution and its ability to accurately capture the key physical processes occurring within the system.

The use of both triangular and square elements strikes a balance between modeling precision and computational efficiency. Triangular elements in the cylindrical regions offer flexibility for adapting to curved surfaces, while square elements in the channel simplify calculations in areas with simpler geometry. This approach aligns with modern practices in computational mesh design, where the choice of element type and size is guided by the complexity of the geometry and the required modeling accuracy.

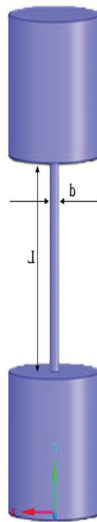


Figure 1 – 3D model of the diffusion cell and the simulation area under study

The pressure-based coupled algorithm is designed to simultaneously solve the momentum equations and the pressure-based continuity equation as a unified system. This differs from the segregated approach, where these equations are handled separately in consecutive steps. In the coupled method, momentum and pressure corrections are computed together in a single operation, while the remaining governing equations are still solved independently, as in the segregated approach [17].

Each iteration of the coupled algorithm follows a structured sequence of steps:

1. Updating Fluid Properties – The physical properties of the fluid, such as density, viscosity, and specific heat, are recalculated based on the current solution state. Additionally, turbulent viscosity (or diffusivity) is updated to maintain accurate flow dynamics.

2. Solving Momentum Equations – The momentum equations are solved sequentially using the most recent values of pressure and mass flux at cell faces.

3. Solving the Pressure Correction Equation – The pressure correction equation is formulated and solved based on the newly computed velocity field and mass flux values.

4. Applying Corrections – Face mass fluxes, pressure values, and velocity fields are corrected using the pressure correction obtained in the previous step.

5. Solving Additional Scalar Equations – If additional scalar equations are present (such as those for turbulence, energy, species transport, or radiation intensity), they are solved using the most recent solution variables.

6. Updating Source Terms – The source terms resulting from interactions between different phases are updated (for example, the source term representing the influence of discrete particles on the carrier phase).

7. Convergence Check – The solution is evaluated for convergence, ensuring numerical stability and consistency.

ANSYS Fluent offers multiple schemes for interpolating pressure values at the faces of computational cells. By default, the Second Order scheme is used for general applications. However, for simulations involving multiphase flow models such as the Mixture Model or VOF (Volume of Fluid) Model, the PRESTO! (Pressure Staggering Option) scheme is preferred to enhance accuracy.

The Second Order scheme reconstructs face pressure using a central differencing approach, ensuring improved accuracy in pressure distribution. The pressure values at cell faces are computed as:

$$P_f = \frac{1}{2}(P_{c_0} + P_{c_1}) + \frac{1}{2}(\nabla P_{c_0} \bar{r}_{c_0} + \nabla P_{c_1} \bar{r}_{c_1}) \quad (1)$$

The SIMPLE algorithm establishes a connection between velocity and pressure corrections to ensure mass conservation, allowing for the accurate calculation of the pressure field.

If the momentum equation is solved using an initial guessed pressure field, the resulting face flux may be inaccurate and require corrections to achieve mass conservation and accurate flow predictions.

$$J_f^* = J_f + d_f(p_{c_0}^* - p_{c_1}^*) \quad (2)$$

To address this issue, a correction term is added to the face flux. This adjustment ensures that the corrected face flux satisfies the continuity equation, maintaining mass conservation in the flow simulation.

$$J_f = J_f^* + J_f' \quad (3)$$

The SIMPLE algorithm assumes that the corrected face flux can be expressed as a combination of the initial flux and a correction term:

$$J_f' = d_f(p_{c_0}' - p_{c_1}') \quad (4)$$

The SIMPLE algorithm inserts the flux correction equations (3)-(4) into the discrete continuity equation. This process leads to a discrete equation that solves for the pressure correction in each cell, ensuring that mass conservation is satisfied throughout the domain [17].

$$a_p p' = \sum_{nb} a_{nb} p'_{nb} + b \quad (5)$$

where the source term is the net flow rate into the cell:

$$b = \sum_f^{N_{faces}} J_f^* A_f \quad (6)$$

The pressure-correction equation (4) can be efficiently solved using the algebraic multigrid (AMG) method outlined in the Algebraic Multigrid (AMG) section. After obtaining the solution, corrections are applied to both the cell pressure and face flux to improve the accuracy of the flow field and ensure mass conservation.

$$p = p^* + \alpha_p p'$$

$$J_f^* = J_f^* + d_f (p'_{c_0} - p'_{c_1}) \quad (7)$$

The parameter α_p represents the under-relaxation factor for pressure, which helps stabilize the solution process. With this correction, the face flux ensures that the discrete continuity equation is fully satisfied at each iteration, improving convergence and solution accuracy.

When working with ANSYS Fluent, it is essential to configure all parameters to ensure both computational efficiency and a high level of accuracy. The key settings and adjustments made in this study are outlined below.

Model Setup and Physical Parameters

Physics:

- Energy equation: Enabled
- Turbulence model: Standard k- ω
- Material properties: Helium (He), Argon (Ar), and Nitrogen (N₂) added to the material database
- Species model: Species Transport
- Boundary conditions: Defined operating pressure, temperature, and density; walls specified as steel

Solution Settings

- Residuals: Set to 10⁻⁶ for all variables to ensure solution accuracy.
- Numerical Methods: SIMPLE (Semi-Implicit Method for Pressure-Linked Equations) scheme was chosen for pressure-velocity coupling.
- Initialization: Applied patching for pressure, temperature, and mole fractions to establish initial conditions.
- Report Definitions: Created plots of mole fractions as a function of time to track species evolution during mixing.

Post-Processing and Results Analysis

- Contour Plots: Generated mixing contours for the heavier element to visualize concentration distribution.

By carefully configuring these parameters, the simulation effectively models the mixing of multicomponent gas mixtures with high accuracy, considering the given geometry and thermophysical conditions.

The study focuses on mixing under conditions where the density gradient is positive (Figure 1). Specifically, a denser binary gas mixture is placed in the upper chamber of the diffusion cell, while a lighter gas is con-

tained in the lower flask. This configuration replicates experimental conditions observed in real laboratory setups.

All physical and chemical properties of the gases were assumed to be constant and sourced from the ANSYS 2024 R2 chemical library [17].

Since the system operates as a closed apparatus, the boundary conditions were set to impermeability, preventing any mass transfer across system boundaries. This ensures that no gas components enter or leave the system. Additionally, thermal boundary conditions were applied to maintain isothermal mixing conditions, with the walls defined as solid stainless steel surfaces. The corresponding material properties were retrieved from the ANSYS 2024 R2 library [17].

A pressure-based solver was used for all simulations. The pressure-velocity relationship was handled using the SIMPLE scheme, as previously mentioned. Computational Fluid Dynamics (CFD) equations were solved using spatial discretization methods, which have demonstrated high effectiveness in prior studies [11] (Table 1).

Table 1 – Solution methods

Quantity	Discretization
Gradient	Least Square Cell Based
Pressure	Second order
Momentum	Second Order Upwind
Turbulent Kinetic Energy	Second Order Upwind
Specific Dissipation Rate	Second Order Upwind
Pseudo Time Method	Off
Transient Formulation	Second Order Implicit

Computer modeling results. Table 2 presents a comparison between experimental and numerically simulated component concentrations under different transport assumptions. The table includes:

- *Experimental concentration values*, obtained under controlled laboratory conditions.
- *Theoretical concentration values*, calculated assuming purely diffusive transport based on the Stefan-Maxwell equations.
- *Numerical concentration values*, obtained using ANSYS Fluent, which accounts for both diffusive and convective transport mechanisms.

The results demonstrate a high degree of agreement between the experimental data and the numerical simulation results, indicating that ANSYS

Fluent accurately captures the impact of convective processes on the system. Conversely, the theoretical calculations using the diffusion-only model fail to reflect these convective effects, highlighting the limitations of the purely diffusive approach in describing real mixing dynamics.

Table 2 presents both experimental and numerically calculated component concentrations, assuming purely diffusive transport, as well as partial concentrations obtained using ANSYS Fluent for the case of combined transport. The data show that the numerical simulation results align well with the experimental findings, confirming the software's capability to account for the impact of convective flows within the system. In contrast, theoretical calculations based solely on the Stefan-Maxwell diffusion model do not capture these convective effects.

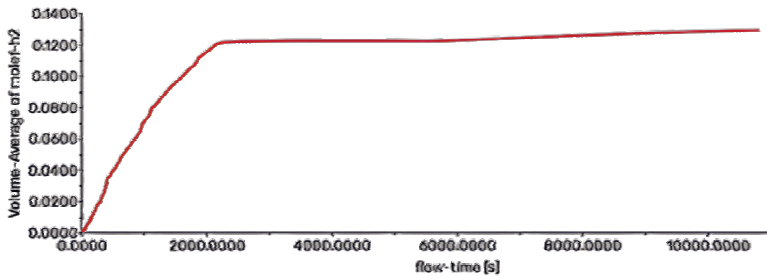
Table 2 - Amount of diffusing gas from one flask to another as a function of experimental pressure

0.8846 H₂ + 0.1154 CH₄ – He (t=3 hours, P=4.07 MPa, T=295 K)			
Method	H ₂	CH ₄	He
Stefan-Maxwell	0.0299	0.0012	0.0312
Experiment [11]	0.1190	0.0310	0.1500
Ansys	0.1297	0.0273	0.6497

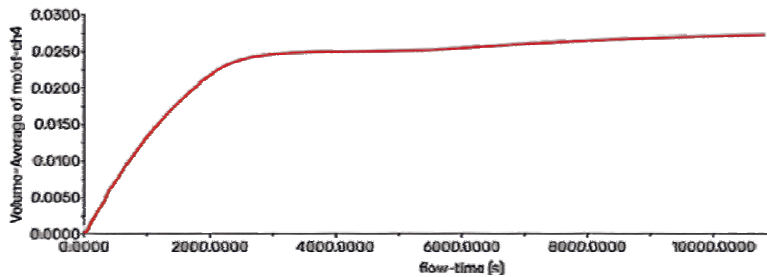
The median deviation between the numerical simulation and experimental data across all gases is approximately 12%. However, some individual discrepancies exceed too much, particularly for the lightest component in the mixture. This may be due to non-idealities in the numerical calculations, as simulations inherently approximate physical processes. Another possible reason is the difference in molecular properties (such as molecular weight, viscosity, and diffusivity) between the actual gases and their assumed values in the computational model. Despite these inconsistencies, the overall agreement between experimental and numerical results confirms the capability of ANSYS Fluent for quantitative estimation of partial fluxes in conditions where mechanical equilibrium is disrupted. In contrast, calculations based solely on the diffusion model (using the Stefan-Maxwell approach) show errors exceeding hundreds of percent, further emphasizing the presence of convective currents in the system.

In an experimental study [11], an attempt was made to evaluate the evolution of the occurrence of convective flows when the mechanical

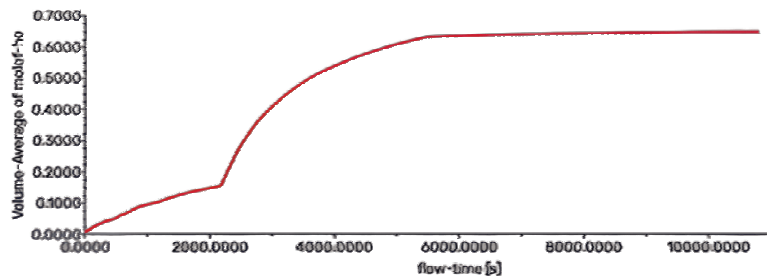
equilibrium of the mixture is unstable, the intensity of partial mixing of the components decreases, and the subsequent diffusion occurs. Figure 2 shows the characteristic stages of multicomponent mixing and numerical values of component concentrations.



a



b



c

Figure 2 – Calculated values of component concentrations at different mixing times in the system $0.8846 H_2 + 0.1154 CH_4 - He$ by Ansys Fluent: a - change in the hydrogen concentration in the lower flask; b - change in the methane concentration in the lower flask; c - change in the helium concentration in the upper flask.

For gases hydrogen and methane, one pattern is visible – an intensive transfer of the amount of gas occurs in the first 2000 seconds, then an almost constant straight line is observed, which indicates a diffusive type of mixing. This is also confirmed by experimental data. But for the helium that was originally in the lower flask, a different picture is observed. The initial stage of transfer corresponds to diffusion mixing – the first 2000 s, but then a sharp increase in the amount of gas from 2000 s to 5000 s. At the end, you can see, again, a monotonous change in concentration. There is a double transition here, first from the diffusion of convection, then back from convection to diffusion.

Conclusion. This study explored convective mixing in an isothermal helium-argon-nitrogen system through both experiments and numerical simulations using ANSYS Fluent. The results showed that the software could accurately describe the combined mass transfer processes, closely matching experimental data and proving its reliability for modeling complex multicomponent mixing. The research also provided insights into the transitions between different types of convective mixing, identifying key stages such as diffusion, the formation of convective currents, and their further development. The findings highlight the intricate nature of mass transfer and demonstrate how ANSYS Fluent effectively captures structural flow patterns, including rising and sinking convective currents. Moreover, the study confirmed that, with the right initial and boundary conditions, ANSYS Fluent can account for crucial factors like density gradients, initial composition, pressure, temperature, and the geometry of the diffusion channel. This accuracy in reproducing experimental results reinforces its potential as a valuable tool for studying such processes.

Overall, the approaches and models developed in this work can be applied to optimize various technological processes involving both convective and diffusive mass transfer, making them useful for future research and industrial applications.

Acknowledgments. The work was supported by the Committee of Science of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (project AP23488139).

References

- 1 Banerjee A. Rayleigh-Taylor Instability: A Status Review of Experimental Designs and Measurement Diagnostics // *Journal of Fluids Engineering*. – 2020. - № 142(12). – P. 12-29. <https://doi.org/10.1115/1.4048349>.
- 2 Kallepalli S., Johnson L. and Mattson B. Diffusion of Gases into Air: A Simple Small-Scale Laboratory Activity // *Journal of Chemical Education*. – 2021. - № 98(10). – P. 3258-3262. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.1c00657>.
- 3 Zhakebayev D.B., Fedorenko O.V., Kossov V.N., Mukamedenkyzy V. and Karuna O.L. Simulation of concentration convection in an inclined channel // *Heat Transfer Research*. – 2022. - № 53(15). – P. 39-52. <https://doi.org/10.1615/Heat-TransRes.2022043133>.
- 4 Kossov V., Fedorenko O., Asembaeva M., Mukamedenkyzy V. and Moldabekova M. Intensification of the separation of isothermal ternary gas mixtures containing carbon dioxide // *Chem. Eng. Technol.* – 2021. – Vol. 44, No. 11. – P. 2034-2040. <https://doi.org/10.1002/ceat.202100241>.
- 5 McLarena C.P., Kovarb T.M., Penna A., Müllera C.R. and Boycea C.M. Gravitational instabilities in binary granular materials // *PNAS*. – 2019. - № 117. – P. 9263-9268. [doi/10.1073/pnas.1820820117](https://doi.org/10.1073/pnas.1820820117).
- 6 Tang Y., Li Z., Wang R., Cui M., Wang X., Lun Z. and Lu Y. Experimental Study on the Density-Driven Carbon Dioxide Convective Diffusion in Formation Water at Reservoir Conditions // *ACS Omega*. – 2019. - № 4. – P. 11082–11092. <https://doi.org/10.1021/acsomega.9b00627>.
- 7 Ortiz de Zarate J.M. Definition of frame-invariant thermodiffusion and Soret coefficients for ternary mixtures // *Eur. Phys. J. E*. – 2019. - № 42. – P. 399–404. <https://doi.org/10.1140/epje/i2019-11803-2>.
- 8 Kossov V., Fedorenko O., Zhakebayev D., Mukamedenkyzy V. and Kulzhanov D. Convective mass transfer of a binary gas mixture in an inclined channel // *ZAMM-J. Appl. Math. Mech.* – 2022. - № 102. <https://doi.org/10.1002/zamm.201900197>.
- 9 Kossov V. and Altenbach H. Diffusion mechanisms of convective instability in liquid and gas mixtures // *Z Angew Math Mech*. – 2023. - № 103. <https://doi.org/10.1002/zamm.202300801>.
- 10 Kosov V.N., Fedorenko O.V. Asembaeva M.K. and Mukamedenkyzy V. Changing diffusion – convection modes in ternary mixtures with a diluent gas // *Theoretical Foundations of Chemical Engineering*. – 2020. – Vol. 54, No. 2. – P. 289-296. <https://doi.org/10.1134/S0040579520020086>.
- 11 Zhavrin Yu. I., Kosov V.N. Some peculiarities of the dynamics of unstable diffuse mass transfer in isothermal ternary gas mixtures // *Thermophysics and Aero-mechanics*. - 1995. – №2(2). – P. 139-144.
- 12 Peixoto M.L.R., Brito M.S.C.A., Santos R. J. and Vilar V.J.P. Kinetic model implementation in raceway pond reactors with hydrodynamic and radiation fields // *Chemical Engineering Research and Design*. – 2024. - № 210. – P. 150–172. <https://doi.org/10.1017/j.cherd.2024.08.030>.
- 13 Abd Halim M. A., Nik Mohd N. A. R., Mohd Nasir M. N. and Dahalan M. N.

The Evaluation of k - ϵ and k - ω Turbulence Models in Modelling Flows and Performance of S-shaped Diffuser // International Journal of Automotive and Mechanical Engineering, – 2018. - № 15. – P. 5171-5177. <https://doi.org/10.15282/ijame.15.2.2018.2.0399>.

14 Kossov V., Fedorenko O., Asembaeva M., Moldabekova M. and Zhaneli M. Diffusion instability in three-component gas mixtures containing greenhouse gas // International Journal of Thermofluids. – 2023. - № 20. <https://doi.org/10.1017/j.ijft.2023.100495>.

15 Pavlov A.V. Diffusion and Thermodiffusion of Atmospheric Neutral Gases: A Review // A Review Surv. Geophys. – 2019. - № 40. – P. 247-276. <https://doi.org/10.1007/s10712-019-09522-2>.

16 Kosov V., Fedorenko O.V., Asembaeva M.K. and Mukamedenkyzy V. Changing diffusion-convection modes in ternary mixtures with a diluent gas // Theor. Found. Chem. Eng. – 2020. - № 54. – P. 289-296.

17 ANSYS Fluent User's Guide, Release 2024. ANSYS Inc., Canonsburg, PA, USA. Available at: <https://www.ansys.com/>.

Мукамеденқызы В.¹, Төлепберген А.Ф.¹, Ақбердиев Б.Е.², Альтенбах Х.³

¹Әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университеті, Алматы қ., Қазақстан

²Абай атындағы Қазақ Ұлттық Педагогикалық Университеті, Алматы қ., Қазақстан

³Отто фон Герике университеті, Магдебург қ., Германия

ҮШ КОМПОНЕНТТІ ГАЗ ҚОСПАЛАРЫН ИЗОТЕРМИЯЛЫҚ АРАЛАСТЫРУ КЕЗІНДЕГІ КОНВЕКТИВТІ АҒЫНДАРДЫ КОМПЬЮТЕРЛІК МОДЕЛЬДЕУ ӘДІСІМЕН ТАЛДАУ

Түйіндеме. Көп компонентті газ қоспаларында араласу режимдерінің алуан түрлілігі бар. Жұмыстың негізгі мақсаты диффузиялық және конвективті режимдер арасындағы шекараны анықтау, сондай-ақ массатасымалдау процестерінде шешуші рөл атқаратын конвективті режимді анықтайтын параметрлерді анықтау. Бұл зерттеу үшкомпонентті газ қоспаларында изотермдік диффузиялық тасымалдауды зерттеуге арналған есептеу моделін ұсынады. Талдау соңғы өлшемдегі тік цилиндрлік арнада үшөлшемді сандық модельдеуді қолдана отырып, уақыт бойынша тасымалдау коэффициенттерінің арақатынасына бағытталған. Зерттелетін жүйенің физикалық параметрлерін бөлу арқылы цилиндрлік тік арналардағы үшкомпонентті газ қоспаларының изотермдік диффузиялық араласу процесі зерттелді. Нәтижелер компоненттердің диффузиялық коэффициенттері салыстырмалы болатын жүйелерде механикалық тепе-теңдік тұрақсыз екенін көрсетеді. Диффузия коэффициенттерінде айтарлықтай айырмашылық болған жағдайда конвективті қоз-

ғалым пайда болуы мүмкін. Бастапқыда бұл конвективті ағындар төмен жылдамдықпен дамиды, бірақ уақыт өте келе олар құрылымдық ағындарға айналады. Есептеу нәтижелері газ қоспаларындағы концентрацияға байланысты диффузия мен конвекция режимдері арасындағы шекараны анықтауға ұсынылған тәсілді қолдана отырып, эксперименттік деректермен жақсы үйлеседі.

Түйінді сөздер: диффузия, конвекция, газдар, компьютерлік модельдеу.

* * *

Мукамеденкызы В.¹, Толепберген А.Г.¹, Акбердиев Б.Е.², Альтенбах Х.³

¹Казахский Национальный Университет им. аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан

²Казахский Национальный Педагогический Университет им. Абая, г. Алматы, Казахстан

³ Университет им. Отто фон Герике, г. Магдебург, Германия

АНАЛИЗ КОНВЕКТИВНЫХ ПОТОКОВ ПРИ ИЗОТЕРМИЧЕСКОМ ПЕРЕМЕШИВАНИИ ТРЕХКОМПОНЕНТНЫХ ГАЗОВЫХ СМЕСЕЙ МЕТОДОМ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Аннотация. В многокомпонентных газовых смесях существует большое разнообразие режимов перемешивания. Ключевой задачей является определение границы между диффузионным и конвективным режимами, а также определение параметров, определяющих конвективный режим, который играет решающую роль в процессах массопереноса. В данном исследовании представлена вычислительная модель для изучения изотермического диффузионного переноса в трехкомпонентных газовых смесях. Анализ фокусируется на соотношении коэффициентов переноса с течением времени с использованием трехмерного численного моделирования в вертикальном цилиндрическом канале конечных размеров. Путем разделения физических параметров исследуемой системы исследован процесс изотермического диффузионного перемешивания трехкомпонентных газовых смесей в цилиндрических вертикальных каналах. Результаты показывают, что в системах, где коэффициенты диффузии компонентов сопоставимы, механическое равновесие неустойчиво. В тех случаях, когда существует значительная разница в коэффициентах диффузии, может возникнуть конвективное движение. Первоначально эти конвективные потоки развиваются с низкими скоростями, но со временем они превращаются в структурированные структуры. Результаты расчетов хорошо согласуются с экспериментальными данными, подтверждая предложенный подход к определению границы между режимами диффузии и конвекции, обусловленной концентрацией, в газовых смесях.

Ключевые слова: диффузия, конвекция, газы, компьютерное моделирование.

Авторлар туралы мәліметтер

Венера Мукамеденқызы – физика-математика ғылымдарының кандидаты, асс.профессор, әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университеті, Алматы қ., Қазақстан, mukameden@inbox.ru

Төлепберген Арсен Ғалымжанұлы – 2 курс докторанты, әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университеті, Алматы қ., Қазақстан, arsen4236@gmail.com

Ақбердиев Бекжан Ержанұлы – 2 курс докторанты, Абай атындағы Қазақ Ұлттық Педагогикалық Университеті, Алматы қ., Қазақстан, bekzhan_akberdiev@mail.ru

Хольм Альтенбах – профессор, Отто фон Герике атындағы университеті, Мадгебург қ., Германия, holm.altenbach@ovgu.de

Сведения об авторах

Венера Мукамеденқызы – кандидат физико-математических наук, асс. профессор, Казахский Национальный Университет им. Аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан, mukameden@inbox.ru

Төлепберген Арсен Ғалымжанұлы – докторант 2 курса, Казахский Национальный Университет им. Аль-Фараби, г. Алматы, Казахста, arsen4236@gmail.com

Ақбердиев Бекжан Ержанұлы – докторант 2 курса, Казахский Национальный Педагогический Университет им. Абая, г. Алматы, Казахстан, bekzhan_akberdiev@mail.ru

Хольм Альтенбах – профессор, университет им. Отто фон Герике, г. Мадгебург, Германия, holm.altenbach@ovgu.de

Information about authors

Venera Mukamedenkyzy – PhD in Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Al Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan email: mukameden@inbox.ru

Tolepbergen Arsen – 2nd year PhD student, Al Farabi Kazakh National University, Almaty c., Kazakhsta, arsen4236@gmail.com

Akberdiev Bekzhan – 2nd year PhD student, Abai Kazakh National Pedagogical University, Almaty c., Kazakhstan, bekzhan_akberdiev@mail.ru

Holm Altenbah – full professor, Otto-von-Guericke-Universität, Magdeburg c., Germany, holm.altenbach@ovgu.de

Mamekova S.¹, Conficoni D.²

¹South-Kazakhstan University named after M. Auezov, Shymkent c., Kazakhstan

²University of Padua, Padua c., Italy

TEACHING ENGLISH IN INCLUSIVE EDUCATION

Abstract. Teaching English in an inclusive education setting is a pressing issue that requires taking into account the students' diverse needs. The specifics of educational process organizing for children with special educational needs in learning a foreign language are examined in this article. Approaches to adapting educational materials, using differentiated methods, and creating a supportive environment are analyzed. Particular attention is paid to integrating universal learning design (UDL) and using modern technologies, such as interactive platforms and adaptive applications. The article emphasizes the importance of training teachers who can work effectively in inclusive classrooms, as well as cooperation with parents and specialists. Based on the methodology analysis and practical examples, recommendations are offered for creating an accessible and effective English language teaching system that promotes the language skills and social inclusion development. The article is addressed to teachers, researchers, and administrators of educational institutions seeking to improve inclusive education.

Keywords: inclusive education, universal learning design, adaptation of materials, educational technologies, differentiated methods, social inclusion.

Introduction. Inclusive education is becoming an integral part of the modern educational system, providing equal opportunities for all students, including those with special educational needs. Teaching English in such conditions is a challenge, as it requires not only mastering language skills, but also taking into account the individual characteristics of each student. English, as a means of international communication, plays a key role in social and academic integration. However, traditional approaches to teaching foreign languages often do not take into account the diversity of cognitive, physical and emotional students' needs. In this regard, there is a need to develop flexible methods that promote effective learning in an inclusive environment. how to adapt the process of teaching English to be accessible, motivating and effective for all learners, and also highlights

the importance of an interdisciplinary approach and the use of modern educational technology

The aim of the research was to develop recommendations for organizing effective English language teaching in an inclusive education environment that promotes the development of students' language competencies and social inclusion with special educational needs. To achieve this aim, the following **tasks** were set:

1. Analyze existing approaches to teaching English in an inclusive environment.
2. Explore the possibilities of using universal design for learning (UDL) in teaching English.
3. Assess the role of educational technologies in adapting the educational process.
4. Identify key aspects of training teachers to work in inclusive classes.
5. Develop practical recommendations for creating an accessible and supportive educational environment.

Research methods. The study is based on a qualitative analysis of scientific literature on inclusive education and foreign language teaching. Methods of data systematization and generalization were used, including a review of international and Russian practices. The work uses an interdisciplinary approach combining pedagogy, psychology and educational technologies. An analysis of cases demonstrating the successful implementation of adapted methods and technologies in inclusive classes was conducted. Comparative analysis elements were also used to assess the various approaches effectiveness, such as differentiated learning and UDL. Data was collected from open sources, including articles, teaching aids and educational platforms.

The study is based on a qualitative analysis of the scientific literature on inclusive education and foreign language teaching. For example, Rodriguez and Cook highlight the role of interactive platforms such as Quizlet in adapting learning for students with special needs by increasing materials accessibility [1]. Kast describes the universal design principles for learning (UDL), including multiple means of presentation and engagement, which formed the basis for adapting English lessons [2]. Ivanova emphasizes the need for an interdisciplinary approach in Russian schools, combining pedagogy and psychology [3]. Petrova points to a lack of training for teachers for inclusive classes [4]. Johnson demonstrates the effectiveness of differentiated instruction for motivating students [5].

To test the effectiveness of the proposed approaches, I have devel-

oped an experiment aimed at introducing adapted methods of teaching English in an inclusive class. The experiment is conducted in a secondary comprehensive school with a group of 15 students, including 5 children with special educational needs (speech, hearing and autism spectrum disorders).

In the first stage, I conducted a diagnostic to determine each student's language level and individual needs. Testing was carried out over two days to avoid overloading the students. I divided the class into two groups of 7-8 students to provide individual support. For each module, I provided clear instructions (oral, written and visual), as well as examples of completing tasks. For students with special needs, I offered a choice of a convenient response format, such as written or oral. During the testing, an assistant was present to help with technical aspects and support students on the autism spectrum.

After completing the testing, I collected and conducted a quantitative analysis, which showed that vocabulary was 40% (average result 8/20 points). Students with cognitive difficulties showed below average results (20-30%).

Listening results (35% (1.75/5 points)) showed that students with hearing impairments had low results (0-20%) without subtitles

Reading results 45% (4.5/10 points). Which means that with adapted materials, students with visual impairments showed an average result.

Speaking results showed the lowest percentage of 30% (3/10 points), which means that students with speech impairments and autism spectrum disorders experienced the greatest difficulties (10-20%).

The answers were assessed according to pre-developed criteria (correctness, completeness). Each student's results were converted into percentages for standardization (e.g. 8/20 points = 40% for vocabulary). It is class averages.

For qualitative analysis behavior, I recorded observations of student behavior, such as anxiety levels, need for additional instructions. This helped to identify barriers, such as concentration difficulties in students with autism spectrum disorders.

Based on the results obtained, for each student with special needs, I compiled a short report describing their results and needs, for example, "a student with a speech disorder needs pronunciation support."

Initial testing provided accurate data on the students' language skills and learning needs. Adaptation of the instruments ensured accessibility for all participants, and the combination of quantitative and qualitative data

helped to develop an individualized curriculum. For example, low speaking results for students with speech impairments prompted me to integrate speech therapy support, and listening difficulties for students with hearing impairments prompted me to increase visual materials. These data became the basis for the subsequent experiment and comparison with the final results.

Practical implementation. Based on the diagnostics, I created a flexible plan for conducting experimental lessons:

1. Multimodal materials (videos with subtitles, interactive cards).
2. Differentiated tasks that take into account the level of preparation and perception features.
3. Using the Quizlet platform for learning vocabulary with accessibility settings (e.g. text descriptions of images).

To implement the developed methodology, lessons were held twice a week. I used group work, individual assignments and technologies such as interactive whiteboards and applications. Teachers received short training on inclusive methods to effectively support students. Midterm tests and observations were conducted monthly to track progress.

To explore the “Daily Routines” topic, I developed a lesson that included differentiated tasks that were tailored to all students. The tasks were implemented according to UDL principles to provide multiple means of presentation, action, and engagement.

Task 1: vocabulary review (for all students)

The aim: to learn 10 words related to everyday activities (e.g. wake up, eat breakfast, go to school).

Materials: interactive flashcards on the Quizlet platform with images, text, and audio recordings of words. Subtitles and text descriptions were added for students with hearing impairments.

Conducting form: students worked in pairs using Quizlet to memorize words. Students with speech impairments practiced pronunciation with the help of audio recordings, and students on the autism spectrum could choose between visual and text cues.

Adaptation: for a student with hearing impairments, I provided printed flashcards with large print and visual associations (e.g. a picture of an alarm clock for “wake up”).

Task 2: group discussion (differentiated)

The aim: write a story about your day using new vocabulary.

Materials: interactive whiteboard with a story template (“In the morning, I... Then I...”)

Conducting form: students with advanced skills worked in groups to write a story about their day. Students with cognitive difficulties used a template with ready-made phrases and pictures to write a text. A student with a speech impairment recorded his story using voice input on a tablet and then played it back to the group.

Adaptation: for a student with an autism spectrum disorder, I provided the opportunity to work individually with a pre-recorded video of a story example which was demonstrated by teacher.

Task 3: interactive game (for engagement)

The aim: to consolidate vocabulary through play.

Materials: “Match the Action” game on an interactive whiteboard, where you need to match words with pictures or actions.

Conducting form: students took turns choosing the correct pairs (e.g. “eat breakfast” and a picture of food). The game was available in two modes: with text prompts and with audio for students with different needs.

Adaptation: for students with visual impairments, I added voice instructions and tactile prompts (e.g. printed cards with texture).

A month into the experiment, I noticed an increase in student engagement: 80% of students actively participated in group assignments, and students with special needs showed an improvement in vocabulary recall (an average of 60% over the initial test). Students with speech impairments became more confident in using voice technology, and students on the autism spectrum began to interact in pairs. Teachers noted that the adapted materials and training helped them better understand their students’ the needs.

The experiment of implementing adapted English language teaching methods in an inclusive classroom lasted three months, and I have completed data collection to evaluate its effectiveness. I used midterm and final tests, engagement observations, and surveys of students, teachers, and parents to analyze progress. The results show significant improvements in language skills, social inclusion, and motivation, although some aspects require further development.

Results and discussion. The results were collected in three main areas: language competence, social engagement, and satisfaction of participants in the educational process. For objectivity, I compared the initial and final indicators using adapted tests, as well as qualitative data from observations and surveys. Below is a table 1 with the main quantitative results, followed by a detailed description of each indicator.

Table 1. Quantitative changes in results

Indicator	Initial level (average,)	Final level (average,)	Change (%)	Comments
Vocabulary	40	78	+35	Students mastered 80% of the target vocabulary (topics "Daily Routines", "Hobbies"). Students with speech impairments showed less progress (+20%)
Listening skills	35	65	+30	Most students improved, but students with hearing impairments depended on subtitles.
Reading skills	45	80	+35	Adapted texts (larger font, simplified phrases) contributed to progress.
Speaking skills	30	60	+30	Students on the autism spectrum have begun to participate in dialogues, but progress is inconsistent.
Social engagement	50	85	+35	80% of students were actively working in groups, including children with special needs
Students satisfaction	60	90	+30	Survey showed that students on the autism spectrum felt more confident and motivated
Teachers satisfaction	55	25	+30	Teachers noted improved interaction with students after trainings
Parental satisfaction	50	80	+30	Parents highly appreciated the individual approach and feedback

The initial level of vocabulary (40%) reflected the students' low knowledge base, especially for those with special needs. The final result (75%) was achieved through the use of Quizlet with multimodal flashcards and differentiated tasks. Students with speech impairments showed less pro-

gress (+20%) due to pronunciation difficulties, which requires additional lessons with a speech therapist.

The improvement in listening of +30% is associated with the use of videos with subtitles and audio recordings with clear diction. However, students with hearing impairments depended on visual cues, indicating the need for further adaptation of materials.

A significant improvement in reading skills of +35% is due to the use of adapted texts and visual cues. Students with cognitive difficulties showed stable progress thanks to templates and teacher support.

An increase of +30% in speaking was noted by most students, especially in group dialogues. Students with autism spectrum disorder began to participate in discussions, but their progress was erratic due to emotional barriers. Voice technology helped students with speech impairments. The 35% increase in social engagement reflects the success of group activities and games such as Match the Action. 80% of students, including those with special needs, actively interacted in pairs and groups, which contributed to their social inclusion.

The survey showed that student satisfaction increased to 90%, with students feeling comfortable and motivated by the interactive activities and supportive environment. Children with special needs noted that the adapted materials helped them “feel like everyone else”. Following training on inclusive methods, 85% of teachers noted improved interaction with students and confidence in using technology, although some noted a lack of time to prepare materials. Parents (80%) highly appreciated the individual approach, regular feedback and noticeable progress of their children. Some parents of children on the autism spectrum asked for more socialization activities.

In addition to the quantitative data, I noted several important trends in qualitative observation:

Interactive games and group assignments increased interest in lessons. For example, a student with a hearing impairment who initially avoided communication became a leader in one of the game activities, a result of increased motivation.

Collaboration was improved. Teachers, psychologists, and parents began to interact more actively, which improved support for students. For example, a speech therapist helped to adapt assignments for students with speech impairments. Some students with autism spectrum disorders periodically lost concentration, which requires additional behavior management strategies. Teachers also need further training to work with children with diverse needs.

Recommendations. The pilot showed that the use of universal learning design, differentiated methods and technologies significantly improved students' language skills and social inclusion. However, sustainable progress requires:

1. Additional resources to adapt materials (e.g. more audiovisual aids).
2. Regular training for teachers on how to manage an inclusive classroom.
3. Individualized support for students with autism spectrum disorders and speech impairments.

These results will form the basis for further recommendations on scaling the approach in other schools.

Conclusion. The conducted experiment shows that English serves as an important tool for social and academic integration, but traditional teaching methods often do not meet the students' diverse needs in an inclusive environment. The experiment showed that an adapted methodology based on universal design for learning (UDL), differentiated approaches and modern technologies such as interactive platforms significantly increase the accessibility and effectiveness of learning. The results demonstrate an improvement in the language skills, motivation and engagement of students, including those with special educational needs. An interdisciplinary approach combining pedagogy, psychology and technology has proven its value. However, the inconsistent progress of students with autism spectrum disorders and the teachers' limited training requires further work. For sustainable results, it is necessary to increase audiovisual resources, organize regular training for teachers and develop support strategies for students with emotional barriers. The obtained data confirm the potential of the methodology and create a basis for its implementation in other schools.

The study's novelty lies in the comprehensive methodology's development and testing that integrates UDL, technology and an interdisciplinary approach adapted for inclusive classes, taking into account Russian realities. Unlike traditional approaches that ignore the diversity of needs, the proposed methodology provides individualized learning, which is confirmed by the significant progress of students with speech, hearing and autism spectrum disorders. **The relevance of the study** is due to the growing need for inclusive education, where English plays a key role in social integration. The problems of teachers' insufficient training and limited access to technology, identified during the experiment, emphasize the need for systemic solutions to ensure equal educational opportunities.

References

- 1 *Rodrigues M., Cook L.* Technologies in Inclusive Education: Opportunities and Challenges. *Journal of Educational Technologies*, 2020, no. 3, pp. 45–60.
 - 2 *Cast D.* Universal Design for Learning: Creating an Accessible Educational Environment. New York, CAST Professional Publishing, 2018. 234 p.
 - 3 *Ivanova E.A.* Inklüzivnoe obrazovanie v Rossii: mejdistsiplinarnyi podhod // *Pedagogicheskii vestnik*. — 2021. — № 4. — s. 78–85.
 - 4 *Petrova N.V.* Professionalnaia podgotovka pedagogov dlia raboty v inklüzivnoi srede // *Obrazovanie i nauka*. — 2022. — № 1. — s. 102–115.
 - 5 *Johnson R.* Differentiated Instruction in Inclusive Classrooms. *Journal of Pedagogical Research*, 2020, no. 5, pp. 33–49.
-

Мамекова С. К.¹, Конфигони Д.²

¹М.Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Шымкент қ., Қазақстан

²Падуа университеті, Падуа қ., Италия

ИНКЛЮЗИВТІ БІЛІМ БЕРУДЕ АҒЫЛШЫН ТІЛІН ОҚЫТУ

Түйіндеме. Ағылшын тілін инклюзивті білім беру жағдайында оқыту – студенттердің әртүрлі қажеттіліктерін ескеруді талап ететін өзекті мәселе. Мақалада шет тілін оқу кезінде ерекше білім беру қажеттіліктері бар балалар үшін оқу процесін ұйымдастырудың ерекшеліктері қарастырылады. Оқу материалдарын бейімдеу, сараланған әдістерді қолдану және қолайлы орта құру тәсілдері талданады. Әмбебап оқыту дизайнын (UDL) енгізуге және интерактивті платформалар мен бейімделген қосымшалар сияқты заманауи технологияларды пайдалануға ерекше назар аударылады. Мақалада инклюзивті сыныптарда тиімді жұмыс істей алатын мұғалімдерді даярлаудың, сондай-ақ ата-аналармен және мамандармен өзара әрекеттестіктің маңыздылығы көрсетілген. Әдістеме мен тәжірибелік мысалдарды талдау негізінде тілдік дағдыларды дамытуға және әлеуметтік инклюзияға ықпал ететін қолжетімді және тиімді ағылшын тілін оқыту жүйесін құру бойынша ұсыныстар ұсынылады. Мақала инклюзивті білім беруді жақсартуға ұмтылатын педагогтарға, ғылыми қызметкерлерге және оқу орындарының басшыларына арналған.

Түйінді сөздер: инклюзивті білім беру, әмбебап білім беру дизайны, материалдарды бейімдеу, білім беру технологиялары, сараланған әдістер, әлеуметтік инклюзия.

* * *

Мамекова С. К.¹, Конфигони Д.²

¹ Южно-Казахстанский университет им. М. Ауэзова, г. Шымкент, Казахстан

² Падуанский университет, г. Падуа, Италия

ПРЕПОДАВАНИЕ АНГЛИЙСКОГО ЯЗЫКА В ИНКЛЮЗИВНОМ ОБРАЗОВАНИИ

Аннотация. Преподавание английского языка в условиях инклюзивного образования является актуальной проблемой, требующей учета разнообразных потребностей учащихся. В статье рассматриваются особенности организации образовательного процесса для детей с особыми образовательными потребностями при изучении иностранного языка. Анализируются подходы к адаптации учебных материалов, использованию дифференцированных методик и созданию поддерживающей среды. Особое внимание уделяется внедрению универсального учебного проектирования (UDL) и использованию современных технологий, таких как интерактивные платформы и адаптивные приложения. В статье подчеркивается важность подготовки учителей, способных эффективно работать в инклюзивных классах, а также взаимодействия с родителями и специалистами. На основе анализа методологии и практических примеров предлагаются рекомендации по созданию доступной и эффективной системы обучения английскому языку, способствующей развитию языковых навыков и социальной инклюзии. Статья адресована педагогам, научным сотрудникам и администраторам образовательных учреждений, стремящихся к совершенствованию инклюзивного образования.

Ключевые слова: инклюзивное образование, универсальный учебный дизайн, адаптация материалов, образовательные технологии, дифференцированные методы, социальная инклюзия.

Information about the authors

Mamekova Sandugash Kurmanalyevna – master, senior lecturer of the “Foreign language for technical specialties” chair of South Kazakhstan University named after M. Auezov, Shymkent c., Kazakhstan, smamekova@mail.ru

Conficoni Daniele – PhD, University of Padua, Padua c., Italy, daniele.conficoni@unipd.it

Авторлар туралы мәліметтер

Мамекова Сандуғаш Курманалыевна – магистр, М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университетінің «Техникалық мамандықтарға арналған шет тілі» кафедрасының аға оқытушысы, Шымкент қ., Қазақстан, smamekova@mail.ru

Даниэле Конфигони – PhD, Падуа университеті, Падуа қ., Италия, daniele.conficoni@unipd.it

Сведения об авторах

Мамекова Сандуғаш Курманалыевна – магистр, старший преподаватель кафедры «Иностранный язык для технических специальностей» Южно-Казахстанского университета имени М. Ауэзова, г. Шымкент, Казахстан, smamekova@mail.ru

Даниэле Конфигони – PhD, Падуанский университет, г. Падуа, Италия, daniele.conficoni@unipd.it

ШАБЛОН НАПИСАНИЯ СТАТЬИ

ҚОЛЖАЗБАНЫ РӘСІМДЕУ ТАЛАПТАРЫ

Эксперименттік мақаланың көлемі – 7-ден 15 бетке дейін (А4 форматы), 4-6 сурет (кесте); үш тілдегі түйіндемелерді, кестелерді, суреттерді, Әдебиеттер тізімін, Әдебиеттер тізімінің сілтемелерін, Авторлар туралы мәліметтерді есептемегенде.

Шолу мақаласы – 7-15 бет, оның ішінде түйіндеме, кестелер, суреттер, әдебиеттер тізімі, әдебиеттер тізімінің сілтемелері, суреттер немесе кестелер саны 9-дан аспайды (3 сурет 1 бетке есептеледі); үш тілдегі авторлар туралы мәліметтер.

Қысқаша хабарлама – түйіндемелерді, кестелерді, суреттерді, әдебиеттер тізімін, әдебиеттер тізімінің сілтемелерін, үш тілдегі авторлар туралы мәліметтерді қоспағанда, суреттерді немесе кестелерді (үштен аспайтын) қоса алғанда 5-9 бет.

Мәтіндік файлдарды PDF және Word форматында (6.0 және одан кейінгі нұсқалары), қаріп – Times New Roman, өлшемі – 12pt, 1,15 интервалмен, бір бағанда ұсыну керек.

МАҚАЛА ЖАЗУ ҮЛГІСІ

ҒТАМА коды (Ғылыми-техникалық ақпараттың мемлекетаралық айдары)

Авторлардың тегі мен аты-жөні – 3 тілде (қазақ, орыс, ағылшын) (біріншісі – мәтіннің авторы, содан кейін бірлескен авторлар мен ғылыми жетекшілер);

Мекеменің атауы, қаласы, елі – 3 тілде (қазақ, орыс, ағылшын);

Егер мақаланың авторлары әртүрлі мекемелерден болса, онда әр фамилияның соңына жоғарғы жағына сан қойыңыз. Әр автордың жұмыс орнын көрсетіңіз және тиісті автордың жұмыс орны атауының басына үстіңгі санды қойыңыз.

Мысал: **А.К. Бериков¹, С.И. Васильев²**

¹Тау-кен ісі институты, Алматы қ., Қазақстан

²Академик Ө. Асаналиев атындағы Қырғыз тау-кен металлургиялық институты, Бішкек қ., Қырғызстан

Мақаланың тақырыбы – 3 тілде (қазақ, орыс, ағылшын);
– барынша қысқа, ақпараттық, қысқартусыз болуы тиіс;

Түйіндеме: 3 тілде жазылады (орыс, қазақ, ағылшын):

150-200 сөзден аспауы тиіс. (Түйіндеме мазмұны: Зерттеу мақсаты. Не істелді. Не табылды. Нәтижелері несімен маңызды, қолдану аясы, әлемде аналогтары бар ма);

Түйінді сөздер: 3 тілде (қазақ, орыс, ағылшын) жазылады – барлығы 5-6 жалғыз сөз және екі-үш сөз тіркесінен аспайды;

Мақала мәтіні: кестелер, суреттер, келтірілген әдебиеттер тізімі;

Кіріспе – соңғы онжылдықтарда осыған ұқсас немесе оған жақын зерттеулер жүргізілген отандық және шетелдік жұмыстарды міндетті түрде қарастырылған мәселенің тарихының қысқаша мазмұны.

Зерттеудің мақсаты – қысқаша сипаттама.

Зерттеу әдістері – жаңа әдістерді егжей-тегжейлі сипаттау керек; авторды және/немесе әдістің атауын көрсете отырып, әдебиеттер тізімінде бұрын жарияланған және белгілі әдістерге сілтеме жасау жеткілікті.

– **Кестелер** араб цифрларымен нөмірленіп, сипаттамалық атауы болуы керек. Сандық өлшемдер (бірліктер) баған тақырыбына қосылуы керек.

– Тек ең жақсы сападағы **суреттер** (графиктер, формулалар, сызбалар және т.б.) және түрлі-түсті иллюстрациялар басып шыға-

руға қабылданады. Суреттерде ондағы кескінге нақты сипаттама беретін қысқаша тақырыптар болуы керек. Суреттердің тақырыптары иллюстрацияларға орналастырылмауы керек. Графика түріне қарамастан, сызбалар дюйміне 600 нүктеден төмен емес жоғары ажыратымдылыққа ие болуы керек. Суреттердің максималды мөлшері 120 × 210 мм. Ұсынылған сапасыз графикалық материалдарға редакция жариялау кезінде жауап бермейді.

Зерттеу нәтижелері – негізгі теориялық және эксперименттік нәтижелер, нақты деректер, анықталған қатынастар мен заңдылықтар келтіріледі. Бұл жағдайда жаңа нәтижелерге, маңызды жаңалықтарға, қолданыстағы теорияларды жоққа шығаратын тұжырымдарға, сондай-ақ практикалық маңызы бар мәліметтерге артықшылық беріледі.

Нәтижелерді талқылау – үздік отандық және әлемдік аналогтармен салыстыру жүргізіледі. Зерттеудің пікірталас сәттері және оларды шешуге деген көзқарасыңыз сипатталады.

Қорытынды – жұмыстың қорытындысын шығару, зерттеудің жаңалығы мен өзектілігін негіздеу, алынған нәтижелерді қолдану бойынша ұсыныстар.

Зерттеулерді қаржыландыру көзі – ведомстволар, қорлар, жеке адамдар және т.б. Пайдаланылған әдебиеттер тізімінің алдына қойылуы керек. Қаржыландырушы ұйымдардың атаулары толық жазылуы тиіс.

Алғыс – демеушілерге, ғылыми жетекшілерге, жұмысқа белсенді қатысқан адамдарға және т. б.

Әдебиеттер тізімі – мәтіндегі сілтемелер оларды еске түсіру ретімен өсу бойынша нөмірленеді. Жарияланым туралы библиографиялық мәліметтер 7.1-2003 MEMCT-на сәйкес рәсімделеді. Әдебиеттер тізімін рәсімдеу үлгісі журналдың vestnik.nauka.kz сайтында ұсынылған. Әдебиеттер тізіміне нормативтік құжаттар, статистикалық жинақтар, газеттерден алынған мақалалар **кірмейді**. Олар мәтінде айтылғаннан кейін жақшаға алынады. Интернет-сайттарға сілтемелер 7.5-98 MEMCT-қа сәйкес жүргізіледі.

Өзіне-өзі сілтеме жасау жалпы тізімнің 20-30%-нан аспауы керек. 10-15 жылдан аспайтын, әсіресе қолданбалы сипаттағы мақалаларға арналған әдеби көздер тізімнің едәуір бөлігін құрауы керек.

References – (Әдебиеттер тізімін транслитерациялау) – 7.79-2000 МЕМСТ-қа сәйкес рәсімделеді және редакция талаптарына сәйкес орналастырылады.

Авторлар туралы мәліметтер 3 тілде (қазақ, орыс, ағылшын) жазылады.

- тегі, аты, әкесінің аты (бар болса), ғылыми атағы/дәрежесі,
- авторлардың әрқайсысының жұмысына қосқан үлесі – экспе-
римент, деректерді өңдеу, талқылау, қолжазба дайындау, әдебиет
іздеу, зерттеу және т. б.
- электрондық пошта.

ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ РУКОПИСИ

Экспериментальная статья — от 7 до 15 страниц (формат А4), 4-6 рисунков (таблиц), не считая аннотации, таблицы, рисунки, Список литературы, References списка литературы, Сведения об авторах на трех языках.

Обзорная статья – 7-15 страниц, включая аннотации, таблицы, рисунки, Список литературы, References списка литературы, количество рисунков или таблиц не более 9 (3 рисунка считаются за 1 страницу); Сведения об авторах на трех языках.

Краткое сообщение – 5-9 страниц, включая рисунки или таблицы (не больше трех), не считая аннотации, таблицы, рисунки, Список литературы, References списка литературы, Сведения об авторах на трех языках.

Текстовые файлы следует представлять в формате PDF и Word (версии 6.0 и более поздние), шрифт — Times New Roman, размер — 12pt, Интервал - 1,15, в одну колонку.

ШАБЛОН НАПИСАНИЯ СТАТЬИ

код МРНТИ (Межгосударственный рубрикатор научно-технической информации)

Фамилия и инициалы авторов – на 3-х языках (казахский, русский, английский) (первый — автор текста, затем соавторы и научные руководители);

Наименование места работы, город, страна – на 3-х языках (казахский, русский, английский);

Если авторы статьи из разных учреждений, то в конце каждой фамилии поставить надстрочную цифру, соответствующую месту работы. Ниже указать место работы каждого автора и поставить надстрочную цифру в начале наименования места работы.

Пример: **Бериков А.К.¹, Васильев С.И.²**

¹Институт горного дела, г. Алматы, Казахстан

² Кыргызский горно-металлургический институт им. Академика У.
Асаналиева,
г. Бишкек, Кыргызстан

Заглавие статьи – на 3-х языках (казахский, русский, английский);
- должно быть максимально кратким, информативным, без сокращений;

Аннотация: пишется на 3-х языках (русский, казахский, английский):

Не более **150-250 слов**. (Содержание аннотации: Цель исследований. Что сделано. Что обнаружено. Чем важны результаты, Область применения, Есть ли аналоги в мире);

Ключевые слова: пишутся на 3-х языках (казахский, русский, английский) — всего 5-6 одиночных слова и не более двух-трёх словосочетаний;

Текст статьи: включает таблицы, рисунки, список цитированной литературы;

Введение — краткое изложение истории вопроса с рассмотрением отечественных и зарубежных работ, в которых аналогичные или близкие исследования уже проводились за последние десятилетия;

Цель исследования – краткое описание;

Методы исследования — следует детально описывать новые методы; на ранее опубликованные и общеизвестные методы достаточно сослаться в списке литературы, указав автора и/или название метода;

– **Таблицы** должны быть пронумерованы арабскими цифрами и иметь описательное название. Численные измерения (единицы) должны быть включены в заголовок столбца.

– **Рисунки** (графики, чертежи и пр.) и цветные иллюстрации принимаются к печати, только в лучшем качестве. Рисунки должны иметь краткие заголовки, дающие точное описание к изображению на рисунках. Заголовки рисунков не должны размещаться на иллюстрациях. Независимо от типа графики, рисунки должны обладать высоким разрешением, не ниже 600 точек на дюйм. Максимальный размер рисунков 120 × 210 мм. За предоставленные не качественные графические материалы, при публикации редакция ответственности не несёт.

Результаты исследования — приводятся основные теоретические и экспериментальные результаты, фактические данные, обнаруженные взаимосвязи и закономерности. При этом отдается предпочтение новым результатам, важным открытиям, выводам, которые опровергают существующие теории, а также данным, имеющим практическое значение.

Обсуждение результатов — производится сопоставление с лучшими отечественными и мировыми аналогами. Описываются дискуссионные моменты исследования, и ваше видение их разрешения.

Вывод – подведение итогов работы, обоснование новизны и актуальности исследования, рекомендации по применению полученных результатов.

Источник финансирования исследований – ведомства, фонды, отдельные люди и т.д. должны быть помещены перед списком использованной литературы. Наименования финансирующих организаций должны быть написаны полностью.

Благодарность – выражается благодарностью спонсорам, научным руководителям, лицам, принимавшим деятельное участие в работе и пр.

Список литературы — ссылки в тексте нумеруются по возрастанию в порядке их упоминания. Библиографические сведения о публи-

кации оформляются согласно ГОСТ 7.1-2003. В список литературы **не включаются** нормативные документы, статистические сборники, статьи из газет, так как их оформляют в круглые скобки после упоминания в тексте. Ссылки на интернет-сайты производятся согласно ГОСТ 7.5-98, предпочтение отдаётся электронным журналам.

Самоцитирование не должно превышать 20-30% от общего списка. Литературные источники давностью не более 10-15 лет должны составлять значительную часть списка, особенно для статей прикладного характера.

References – (Транслитерация Списка литературы) — оформляется согласно ГОСТ 7.79-2000 и размещается в соответствие с требованиями редакции.

Сведения об авторах на 3-х языках (казахский, русский, английский):

- фамилия, имя и отчество полностью (если есть),
- научная степень/звание,
- место работы автора
- вклад в работу каждого из авторов – Эксперимент, Обработка Данных, Обсуждение, Подготовка Рукописи, Поиск Литературы, Исследования и пр.
- электронная почта.

Регистрационное свидетельство
№ 1332 от 07.06.1994г.
выдано Министерством печати
и массовой информации
Республики Казахстан

Главный редактор *Болезенова С.А.*
Редактор *Л.Н. Гребцова*
Ответственный секретарь *Е.С. Сухова*
Обложка *Е.С. Кадыров, Е.С. Сухова*
Редактор текста на казахском языке *Т.Т. Садырова*
Компьютерная верстка *Д.Р. Турысбек*

Подписано в печать 14.06.2025.
Формат 60х84/16. Печать офсетная. Бумага офсетная.
Усл. п. л. 6,0. Тираж 350 экз. Заказ 160.

Редакционно-издательский отдел НЦ ГНТЭ.
050026, Республика Казахстан, г. Алматы, ул. Бөгенбай батыра, 221
