

ISSN 2518-1483 (Online),  
ISSN 2224-5227 (Print)

2022 • 1

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ  
ҰЛТТЫҚ ҒЫЛЫМ АКАДЕМИЯСЫНЫҢ  
**БАЯНДАМАЛАРЫ**

**ДОКЛАДЫ**  
НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК  
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

**REPORTS**  
OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES  
OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

PUBLISHED SINCE JANUARY 1944



ALMATY, NAS RK

**Бас редактор:**

**ЖҰРЫНОВ Мұрат Жұрынұлы**, химия ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, Қазақстан Республикасы Ұлттық ғылым академиясының президенті, АҚ «Д.В. Сокольский атындағы отын, катализ және электрохимия институтының» бас директоры (Алматы, Қазақстан) Н = 4

**Редакция алқасы:**

**БЕНБЕРИН Валерий Васильевич** (бас редактордың орынбасары), медицина ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, Қазақстан Республикасы Президенті Іс Басқармасы Медициналық орталығының директоры (Алматы, Қазақстан) Н = 11

**РАМАНҚҰЛОВ Ерлан Мирхайдарұлы** (бас редактордың орынбасары), профессор, ҚР ҰҒА корреспондент-мүшесі, Ph.D биохимия және молекулалық генетика саласы бойынша Ұлттық биотехнология орталығының бас директоры (Нұр-Сұлтан, Қазақстан) Н = 23

**ӘДЕКЕНОВ Серғазы Мыңжасарұлы**, химия ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, «Фитохимия» халықаралық ғылыми-өндірістік холдингінің директоры (Қарағанды, Қазақстан) Н = 11

**САНГ-СУ Квак**, Ph.D (биохимия, агрохимия), профессор, Корей биоғылым және биотехнология ғылыми-зерттеу институты (KRIBB), өсімдіктердің инженерлік жүйелері ғылыми-зерттеу орталығының бас ғылыми қызметкері (Дэчон, Корея) Н = 34

**БЕРСІМБАЕВ Рахметқажы Ескендірұлы**, биология ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, Еуразия ұлттық университеті. Л.Н. Гумилев (Нұр-Сұлтан, Қазақстан) Н = 12

**ӘБИЕВ Руфат**, техника ғылымдарының докторы (биохимия), профессор, Санкт-Петербург мемлекеттік технологиялық институты «Химиялық және биотехнологиялық аппаратураны оңтайландыру» кафедрасының меңгерушісі (Санкт-Петербург, Ресей) Н = 14

**ЛОКШИН Вячеслав Нотанович**, медицина ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, «PERSONA» халықаралық клиникалық репродуктология орталығының директоры (Алматы, Қазақстан) Н = 8

**СЕМЕНОВ Владимир Григорьевич**, биология ғылымдарының докторы, профессор, Чуваш Республикасының еңбек сіңірген ғылым қайраткері, «Чуваш мемлекеттік аграрлық университеті» Федералдық мемлекеттік бюджеттік жоғары білім беру мекемесі Ақушерлік және терапия кафедрасының меңгерушісі (Чебоксары, Ресей) Н = 23

**ФАРУК Асана Дар**, Хамдар аль-Маджида Хамдард университетінің шығыс медицина факультеті, Шығыс медицинасы колледжінің профессоры (Карачи, Пәкістан) Н = 21

**ЩЕПЕТКИН Игорь Александрович**, медицина ғылымдарының докторы, Монтана штаты университетінің профессоры (Монтана, АҚШ) Н = 27

**КАЛАНДРА Пьетро, Ph.D (физика)**, Нанокұрылымды материалдарды зерттеу институтының профессоры (Рим, Италия) Н = 26

**РОСС Самир, Ph.D**, Миссисипи университетінің Фармация мектебі өсімдік өнімдерін ғылыми зерттеу орталығының профессоры (Оксфорд, АҚШ) Н = 26

**МАЛЪМ Анна**, фармацевтика ғылымдарының докторы, профессор, Люблин медицина университетінің фармацевтика факультетінің деканы (Люблин, Польша) Н = 22

**ОЛИВЬЕРО Росси Сезаре, Ph.D (химия)**, Калабрия университетінің профессоры (Калабрия, Италия) Н = 27

«Қазақстан Республикасы Ұлттық ғылым академиясының баяндамалары»

ISSN 2518-1483 (Online),

ISSN 2224-5227 (Print)

Меншіктеуші: «Қазақстан Республикасының Ұлттық ғылым академиясы» Республикалық қоғамдық бірлестігі (Алматы қ.). Қазақстан Республикасының Ақпарат және қоғамдық даму министрлігінің Ақпарат комитетінде 29.07.2020 ж. берілген № KZ93VPY00025418 мерзімдік басылым тіркеуіне қойылу туралы куәлік.

Тақырыптық бағыты: *өсімдік шаруашылығы, экология және медицина саласындағы биотехнология және физика ғылымдары.*

Мерзімділігі: жылына 4 рет.

Тиражы: 300 дана.

Редакцияның мекен-жайы: 050010, Алматы қ., Шевченко көш., 28; 219 бөл.; тел.: 272-13-19

<http://reports-science.kz/index.php/en/archive>

© Қазақстан Республикасының Ұлттық ғылым академиясы, 2022

**Главный редактор:**

**ЖУРИНОВ Мурат Журинович**, доктор химических наук, профессор, академик НАН РК, президент Национальной академии наук Республики Казахстан, генеральный директор АО «Институт топлива, катализа и электрохимии им. Д. В. Сокольского» (Алматы, Казахстан) Н = 4

**Редакционная коллегия:**

**БЕНБЕРИН Валерий Васильевич** (заместитель главного редактора), доктор медицинских наук, профессор, академик НАН РК, директор Медицинского центра Управления делами Президента Республики Казахстан (Алматы, Казахстан) Н = 11

**РАМАНКУЛОВ Ерлан Мирхайдарвич** (заместитель главного редактора), профессор, член-корреспондент НАН РК, Ph.D в области биохимии и молекулярной генетики, Генеральный директор Национального центра биотехнологии (Нур-Султан, Казахстан) Н = 23

**АДЕКЕНОВ Сергазы Мынжасарович**, доктор химических наук, профессор, академик НАН РК, директор Международного научно-производственного холдинга «Фитохимия» (Караганда, Казахстан) Н = 11

**САНГ-СУ Квак, доктор философии** (Ph.D, биохимия, агрохимия), профессор, главный научный сотрудник, Научно-исследовательский центр инженерных систем растений, Корейский научно-исследовательский институт бионауки и биотехнологии (KRIBB), (Дэчон, Корея) Н = 34

**БЕРСИМБАЕВ Рахметкажи Искендерович**, доктор биологических наук, профессор, академик НАН РК, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева (Нур-Султан, Казахстан) Н = 12

**АБИЕВ Руфат**, доктор технических наук (биохимия), профессор, заведующий кафедрой «Оптимизация химической и биотехнологической аппаратуры», Санкт-Петербургский государственный технологический институт (Санкт-Петербург, Россия) Н = 14

**ЛОКШИН Вячеслав Нотанович**, академик НАН РК, доктор медицинских наук, профессор, директор Международного клинического центра репродуктологии «PERSONA» (Алматы, Казахстан) Н = 8

**СЕМЕНОВ Владимир Григорьевич**, доктор биологических наук, профессор, заслуженный деятель науки Чувашской Республики, заведующий кафедрой морфологии, акушерства и терапии, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Чувашский государственный аграрный университет» (Чебоксары, Чувашская Республика, Россия) Н = 23

**ФАРУК Асана Дар**, профессор Колледжа восточной медицины Хамдарда аль-Маджида, факультет восточной медицины Университета Хамдарда (Карачи, Пакистан) Н = 21

**ЩЕПЕТКИН Игорь Александрович**, доктор медицинских наук, профессор Университета штата Монтана (США) Н = 27

**КАЛАНДРА Пьетро**, доктор философии (Ph.D, физика), профессор Института по изучению наноструктурированных материалов (Рим, Италия) Н = 26

**РОСС Самир**, доктор Ph.D, профессор Школы фармации Национального центра научных исследований растительных продуктов Университета Миссисипи (Оксфорд, США) Н = 26

**МАЛЬМ Анна**, доктор фармацевтических наук, профессор, декан фармацевтического факультета Люблинского медицинского университета (Люблин, Польша) Н = 22

**ОЛИВЬЕРО Росси Чезаре**, доктор философии (Ph.D, химия), профессор Университета Калабрии (Калабрия, Италия) Н = 27

**Доклады Национальной академии наук Республики Казахстан»****ISSN 2518-1483 (Online),****ISSN 2224-5227 (Print)**

Собственник: Республиканское общественное объединение «Национальная академия наук Республики Казахстан» (г. Алматы). Свидетельство о постановке на учет периодического печатного издания в Комитете информации Министерства информации и общественного развития Республики Казахстан № **KZ93VPY00025418**, выданное 29.07.2020 г.

Тематическая направленность: *биотехнология в области растениеводства, экологии, медицины и физические науки.*

Периодичность: 4 раз в год.

Тираж: 300 экземпляров

Адрес редакции: 050010, г. Алматы, ул. Шевченко, 28; ком. 219; тел. 272-13-19

<http://reports-science.kz/index.php/en/archive>

**Editor in chief:**

**ZHURINOV Murat Zhurinovich**, Doctor of Chemistry, Professor, Academician of NAS RK, President of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, General Director of JSC "Institute of Fuel, Catalysis and Electrochemistry named after D.V. Sokolsky" (Almaty, Kazakhstan) H = 4

**Editorial board:**

**BENBERIN Valery Vasilievich**, Doctor of Medicine, Professor, Academician of NAS RK, Director of the Medical Center of the Presidential Property Management Department of the Republic of Kazakhstan (Almaty, Kazakhstan) H = 11

**RAMANKULOV Erlan Mirkhaidarovich**, Professor, Corresponding Member of NAS RK, Ph.D in the field of biochemistry and molecular genetics, General Director of the National Center for Biotechnology (Nur-Sultan, Kazakhstan) H = 23

**ADEKENOV Sergazy Mynzhasarovich**, Doctor of Chemical Sciences, Professor, Academician of NAS RK, Director of the International Scientific and Production Holding «Phytochemistry» (Karaganda, Kazakhstan) H = 11

**SANG-SOO Kwak**, Ph.D in Biochemistry, Agrochemistry, Professor, Chief Researcher, Plant Engineering Systems Research Center, Korea Research Institute of Bioscience and Biotechnology (KRIBB) (Daecheon, Korea) H = 34

**BERSIMBAEV Rakhmetkazhi Iskendirovich**, Doctor of Biological Sciences, Professor, Academician of NAS RK, L.N. Gumilyov Eurasian National University (Nur-Sultan, Kazakhstan) H = 12

**ABIYEV Rufat**, Doctor of Technical Sciences (Biochemistry), Professor, Head of the Department of Optimization of Chemical and Biotechnological Equipment, St. Petersburg State Technological Institute (St. Petersburg, Russia) H = 14

**LOKSHIN Vyacheslav Notanovich**, Professor, Academician of NAS RK, Director of the PERSONA International Clinical Center for Reproductology (Almaty, Kazakhstan) H = 8

**SEMENOV Vladimir Grigorievich**, Doctor of Biological Sciences, Professor, Honored Scientist of the Chuvash Republic, Head of the Department of Morphology, Obstetrics and Therapy, Chuvash State Agrarian University (Cheboksary, Chuvash Republic, Russia) H = 23

**PHARUK Asana Dar**, professor at Hamdard al-Majid College of Oriental Medicine. Faculty of Oriental Medicine, Hamdard University (Karachi, Pakistan) H = 21

**TSHEPETKIN Igor Aleksandrovich**, Doctor of Medical Sciences, Professor at the University of Montana (Montana, USA) H = 27

**CALANDRA Pietro**, Ph.D in Physics, Professor at the Institute of Nanostructured Materials (Monterotondo Station Rome, Italy) H = 26

**ROSS Samir**, Ph.D, Professor, School of Pharmacy, National Center for Scientific Research of Herbal Products, University of Mississippi (Oxford, USA) H = 26

**MALM Anna**, Doctor of Pharmacy, Professor, Dean of the Faculty of Pharmacy, Lublin Medical University (Lublin, Poland) H = 22

**OLIVIERRO ROSSI Cesare**, Ph.D in Chemistry, Professor at the University of Calabria (Calabria, Italy) H = 27

**Reports of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan.****ISSN 2518-1483 (Online),****ISSN 2224-5227 (Print)**

Owner: RPA «National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan» (Almaty). The certificate of registration of a periodical printed publication in the Committee of information of the Ministry of Information and Social Development of the Republic of Kazakhstan No. **KZ93VPY00025418**, issued 29.07.2020.

Thematic scope: *biotechnology in the field of crop research, ecology and medicine and physical sciences.*

Periodicity: 4 times a year.

Circulation: 300 copies.

Editorial address: 28, Shevchenko str., of. 219, Almaty, 050010, tel. 272-13-19

<http://reports-science.kz/index.php/en/archive>

Э.К. Асембаева<sup>1\*</sup>, Э.К. Адильбекова<sup>2</sup>, А.Б. Токтамысова<sup>3</sup>, З.Ж. Сейдахметова<sup>1</sup>, А.Б. Бейсембаева<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Алматы технологиялық университеті, Алматы, Қазақстан;

<sup>2</sup>С.Сейфуллин атындағы «Қазақ агротехникалық университеті», Нұр-Сұлтан, Қазақстан;

<sup>3</sup>Қазақстан-Ресей медициналық университеті, Алматы, Қазақстан.

E-mail: [elmiraasembaeva@mail.ru](mailto:elmiraasembaeva@mail.ru)

## ПРЕБИОТИКАЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІ БАР СҮТҚЫШҚЫЛДЫ ӨНІМНІҢ ҚАУІПСІЗДІК КӨРСЕТКІШТЕРІ

**Аннотация.** Азық-түлік қауіпсіздігі ұлттық қауіпсіздіктің бір бөлігі болып табылады, себебі бірде-бір мемлекет халықтың азық-түлік қауіпсіздігін қамтамасыз етпей тұрып, елдің экономикалық, саяси немесе ұлттық қауіпсіздігін қамтамасыз етуі мүмкін емес. Соңғы жылдары тұтынушылардан тағам өнімдеріне сұраныстың жоғарылауына және бәсекелестіктің күшеюіне байланысты сапа мен қауіпсіздікке көп көңіл бөлінуде. Еуропа елдерінде тамақ өнімдерінің сапасын бағалау кезінде басты өлшемдер олардың дәмдік сапасы емес, қауіпсіздік кепілдігі болып табылады.

Соңғы жылдары ішкі нарықта азық-түлік тауарларының әртүрлі топтарының экономикалық қол жетімділік деңгейінің өсуі байқалады. Осыған байланысты олардың сапасы мен тұтынушылар үшін қауіпсіздігі бірінші орынға шығады, олар бір-бірімен тығыз байланысты, өйткені тұтынушының денсаулығы оның тұтынатын тағамымен тікелей байланысты. Өндірушілер тұтынушылардың өсіп келе жатқан қауіпсіз және сапалы тағамға деген сұранысын қанағаттандыруы керек.

Бұл мақалада тамақ өнімдерінің қауіпсіздігін бақылау әдістеріне сәйкес авторлар түйе сүті негізінде алынған пребиотикалық қасиеттері бар көмірсулар композициясымен байытылған сүтқышқылды өнімнің қауіпсіздік және микробиологиялық көрсеткіштеріне талдаулар жүргізді. Зерттеу нәтижелері бойынша зерттелген барлық үлгілер нормативтік құжаттардың көрсеткіштеріне сәйкес келетіні және тұтынуға қауіпсіз екендігі анықталды. Түйе сүтінен алынған сүтқышқылды өнімге фруктоза, изомальтулоза, лактулозадан тұратын пребиотикалық қасиет көрсететін тәттілендіргіш көмірсулар композициясынан тұратын шәрбат қосу өнімнің қауіпсіздігіне және тамақтану деңгейінің өзгеруіне әсер етпейтіндігі расталды.

**Түйін сөздер:** түйе сүтінен әзірленген сүтқышқылды өнім, пребиотик, симбиотикалық ұйытқы, қауіпсіздік, микробиологиялық көрсеткіштер.

Э.К. Асембаева<sup>1\*</sup>, Э.К. Адильбекова<sup>2</sup>, А.Б. Токтамысова<sup>3</sup>, З.Ж. Сейдахметова<sup>1</sup>, А.Б. Бейсембаева<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Алматинский технологический университет, Алматы, Казахстан;

<sup>2</sup>Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина, Нур-Султан, Казахстан;

<sup>3</sup>Казахстанско-Российский медицинский университет, Алматы, Казахстан.

E-mail: [elmiraasembaeva@mail.ru](mailto:elmiraasembaeva@mail.ru)

## ПОКАЗАТЕЛЕЙ БЕЗОПАСНОСТИ КИСЛОМОЛОЧНЫХ ПРОДУКТОВ С ПРЕБИОТИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ

**Аннотация.** Продовольственная безопасность является частью национальной безопасности, потому что ни одно государство не может обеспечить экономическую, политическую или национальную безопасность страны без обеспечения продовольственной безопасности населения. В последние

годы из-за растущего спроса на продукты питания со стороны потребителей и усиления конкуренции большое внимание уделяется качеству и безопасности. В европейских странах главным критерием при оценке качества пищевых продуктов является гарантия безопасности, а не их вкусовые качества.

В последние годы наблюдается повышение уровня экономической доступности различных групп продуктов питания на внутреннем рынке. В этом отношении их качество и безопасность для потребителя выходит на первое место, они тесно связаны, потому что здоровье потребителя напрямую связано с потребляемой им пищей. Производители должны удовлетворять растущий спрос потребителей на безопасные и качественные продукты питания.

В данной статье, в соответствии с методами контроля безопасности пищевых продуктов, исследованы безопасность и микробиологические параметры кисломолочных продуктов, обогащенных углеводной композицией с пребиотическими свойствами, полученных на основе верблюжьего молока. По результатам исследования все образцы соответствуют требованиям нормативных документов и безопасны для употребления. Подтверждено, что добавление сиропа, содержащего композицию подслащенных углеводов с пребиотическими свойствами – фруктоза, изомальтулоза, лактулоза – к кисломолочным продуктам, полученным из верблюжьего молока, не влияет на безопасность продукта и изменение пищевого статуса.

**Ключевые слова:** кисломолочный продукт из верблюжьего молока, пребиотик, симбиотическая закваска, безопасность, микробиологические показатели.

**Е.К. Assembayeva<sup>1\*</sup>, Е.К. Adilbekova<sup>2</sup>, А.В. Toktamyssova<sup>3</sup>, Z.Zh. Seidakhmetova<sup>1</sup>, А.В. Beisembayeva<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan;

<sup>2</sup>Saken Seifullin Kazakh Agrotechnical University, Nur-Sultan, Kazakhstan;

<sup>3</sup>Kazakhstan-Russian Medical University, Almaty, Kazakhstan.

E-mail: elmiraasembaeva@mail.ru

## SAFETY INDICATORS OF SOUR MILK PRODUCTS WITH PREBIOTIC PROPERTIES

**Abstract.** Food security is a part of national security, because no state can provide economic, political or national security of a country without food security. In recent years, due to growing demand for food products from consumers and increasing competition, great attention is paid to quality and safety. In European countries, the main criterion for assessing the quality of food is the guarantee of safety, and not their taste.

In recent years, there has been an increase in the level of economic accessibility of various food groups in the domestic market. In this regard, their quality and safety for the consumer comes first, they are closely related, because the health of the consumer is directly related to the food they consume. Producers must meet the growing consumer demand for safe and quality food.

In this article, in accordance with food safety control methods, the safety and microbiological parameters of fermented milk products enriched with a carbohydrate composition with prebiotic properties, obtained on the basis of camel milk, have been investigated. According to the results of the study, all samples meet the requirements of regulatory documents and are safe for use. It was confirmed that the addition of a syrup containing a composition of sweetened carbohydrates with prebiotic properties – fructose, isomaltulose, lactulose to fermented milk products obtained from camel milk, does not affect the safety of the product and change the nutritional status.

**Key words:** fermented milk product made from camel milk, prebiotic, symbiotic starter culture, safety, microbiological indicators.

**Кіріспе.** Салауатты тамақтану саласындағы мемлекеттік саясаттың мақсаттарының бірі – жеткіліксіз және теңгерімсіз тамақтанудан болатын аурулардың алдын алу. Жақында артериялық гипертензия, гиперхолестеринемиядан туындаған жүрек-қан тамырлары аурулары, метабаликалық синдром және оның семіздік пен қант диабеті түріндегі шарықтау шегі сияқты патологиялық жағдайлардың көбеюі өмір салтымен және әсіресе оның маңызды компоненті – тамақтанумен тығыз байланысты [1].

Өнімнің қауіпсіздігі мен сапасына қатысты мәселелер тамақ өндірушілер, сатушылар мен тұтынушылар үшін басымдырақ болып табылады. Азық-түлік қауіпсіздігінің деңгейін анықтау тамақ өнімдерінде қауіпті факторлардың болуымен байланысты. Қауіпті факторлардың тамақ өнімдеріне әсері оларды өндірудің, тасымалдаудың және сатудың кез-келген кезеңінде болуы мүмкін, сондықтан технологиялық үрдістің барлық сатыларын бақылау өте маңызды [2].

Сүт нарығында өсіп келе жатқан бәсекелестік дәстүрлі сүт өнімдерін алу технологияларын жетілдіріп қана қоймай, сонымен қатар қазіргі күннің талаптарына сәйкес келетін жаңа буын өнімдерін жасауға әкеледі. Бұл құрамы теңдестірілген, функционалды мақсаттағы құрамы жақсартылған және сапа көрсеткіштері мен тағамдық құндылығы жоғары өнімдер [3].

Тамақ өнеркәсібіндегі негізгі мәселе тағам өнімдерінің сапасы мен қауіпсіздігін бақылау, сақтау мерзімін анықтау. Түйе сүті негізінде дайындалған пребиотикалық қасиеттері бар сүтқышқылды сусынның жарамдылық мерзімі 7 тәулік болатыны, оған қосылатын шәрбәттің оңтайлы мөлшері өнімнің салмағы бойынша шамамен 5% құрайтыны анықталды [4-6].

Зерттеу жұмысының мақсаты түйе сүті негізінде әзірленген пребиотикалық қасиеттері бар сүтқышқылды өнімінің қауіпсіздік көрсеткіштерін зерттеу.

**Зерттеу нысаны мен әдістері.** Зерттеу нысаны ретінде түйе сүтінен әзірленген фруктоза, изомальтулоза, лактулозадан тұратын пребиотикалық қасиет көрсететін тәттілендіргіш көмірсулар композициясынан тұратын шәрбәт қосылған йогурт үлгілері алынды.

Йогурт дайындау үшін түйе (*Camelus bactrianus*) сүті, құрамы *Streptococcus salivarius subspecies termophilus* және *Lactobacillus delbruki subspecies bulgaricus* тұратын Бүкілресейлік сүт өнеркәсібі ғылыми-зерттеу институты (БСӨҒЗИ) әзірлеген өндірістік симбиотикалық ұйытқы, фруктоза: изомальтулоза: лактулоза тұратын шәрбәт алынды.

Түйе сүтінен әзірленген йогурт үлгілерінің қауіпсіздік көрсеткіштерін зерттеу үшін жалпы қабылданған мемлекеттік стандарт әдістері қолданылды. Сүтқышқылды өнімнің құрамындағы токсинді элементтер қорғасын мен кадмий мөлшері МЕМСТ 30178-96 [7], мышьяк мөлшері МЕМСТ Р 51766-2001 [8], сынап мөлшері МЕМСТ 26927-86 [9], антибиотиктер мөлшері МЕМСТ 33526-2015 [10], (ИТТБ) ішек таяқшалары тобындағы бактериялар саны МЕМСТ 32901-2014 [11]; стафилококктар *S.aureus* МЕМСТ 30347-2016 [12]; ашытқы мен зең жасушаларының саны МЕМСТ 33566-2015 [13]; патогенді микроорганизмдер, соның ішінде сальмонелла мөлшері МЕМСТ 31659-2012 [14]; *L. monocitogenes* мөлшері МЕМСТ 32031-2012 [15] стандарт әдістері бойынша анықталды.

**Зерттеу нәтижелері және оны талдау.** Адамның антропогендік іс-әрекетімен байланысты әлемнің барлық дерлік аймақтарындағы экологиялық жағдайдың күрт нашарлауы тұтынылатын тағамның сапасына әсер етеді. Химиялық және биологиялық заттардың едәуір бөлігі адам ағзасына тамақпен бірге енеді. Олар бір жағынан тірі ағзалар, екінші жағынан ауа, су мен топырақ арасындағы заттардың алмасуын қамтамасыз ететін биологиялық тізбек ретінде тағамға енеді және жиналады. Азық-түлік шикізаты мен тамақ өнімдерінің қауіпсіздігі мен сапасын қамтамасыз ету халықтың денсаулығы мен оның гендік қорын сақтауды анықтайтын қазіргі адамзат қоғамының басты міндеттерінің бірі болып табылады.

Азық-түлік өнімдеріне түсетін токсинді элементтердің көздері шикізат, өңдеу жабдықтары және ыдыстар (темір және қалайы) болып табылады. Жоғары дамыған елдерде жыл сайын сынапты, кадмийді, қорғасынды және басқа да токсинді элементтерді өнеркәсіпте пайдалану артып келеді. Ауылшаруашылығында жәндіктер мен кеміргіштерді жою үшін токсинді элементтердің дәрілері (сынап, мыс, мырыш) кеңінен қолданылады. Сақтау кезінде қоймалардағы ауада зиянды қоспалар (қорғасын оксидтері, сынап буы және т.б.) болмаса, токсинді элементтердің мөлшері көп жағдайда өзгермейді. Қаңылтыр ыдыстардағы консервілерде, олардағы темір мен қалайының мөлшері ыдыстың коррозиясына байланысты артуы мүмкін. Шекті рұқсат етілген концентрацияларда токсинді элементтер тұтынушының өмірі мен денсаулығына айтарлықтай зиян келтірмейді. Кейбір микроэлементтер елеусіз мөлшерде тіпті ағзаға қажет. Мысалы, мыс бірқатар ферменттердің құрамдас бөлігі болып табылады, В тобы дәрумендерін белсендіреді, көмірсулар мен ақуыздардың алмасуына әсер етеді, қан түзілуде маңызды рөл атқарады, ал мырыш ферменттердің тотығу-тотықсыздану реакцияларына қатысады.

Дегенмен, рұқсат етілген шекті концентрациядан асатын дозалар адам ағзасына улы болуы мүмкін, ауыр зат алмасу бұзылыстарын тудыруы, улануды, кейде тіпті өлімге әкелуі де мүмкін.

Адам ағзасы үшін ең токсинді элементтер – кадмий, қорғасын, мышьяк және сынап. Кадмий ең қауіпті токсиканттардың бірі (қорғасыннан да улы), ол тыныс алу және асқазан-ішек жолдарына, орталық және шеткі жүйке жүйесіне, ішкі ағзаларға (бүйрек, жүрек, бауыр, қаңқа бұлшықеттері, сүйек тіндері, жыныс мүшелерінің қызметіне) әсер етеді. Кадмийдің әсер ету механизмі фосфор-кальций алмасуын бұза отырып, бірқатар ферменттік жүйелердің белсенділігін тежеу болып табылады.

Кадмий қосылыстары ағзада, көбінесе сүйекте, бүйректе және ішкі секреция бездерінде жинақталады. Кадмий гемоглобинмен байланысып, қанда ұзақ уақыт сақталады. Ол ағзадан баяу,

негізінен асқазан-ішек жолдары арқылы шығарылады. Кадмийді өндірістік ортадан шығару іс жүзінде мүмкін емес, сондықтан ол онда жиналып, әртүрлі жолдармен тамаққа түседі, көбінесе шикізаттың өндірістік газ тәріздес шығарындыларымен ластануына байланысты.

Қорғасын – барлық тіршілік иелеріне әсер ететін күшті у. Ол жүйке жүйесінде, қан мен қан тамырларындағы өзгерістерді тудырады, көптеген ферментативті процестерді баяулатады, ақуыз синтезіне, энергия балансына және жасушаның генетикалық аппаратына белсенді әсер етеді. Балалар ересектерге қарағанда қорғасынға сезімтал келеді.

Мышьяк жүйке жүйесіне, тамыр қабырғаларына әсер етіп, капиллярлардың өткізгіштігінің жоғарылауы мен сал ауруын тудырады, бауыр, жүрек, ішек, бүйрек, тырнақ, трофикалық жараларды зақымдайды, ұлпалардағы тотығу процестерін бәсеңдетеді. Ауыр улану жағдайында өлімге әкелуі мүмкін.

Сынап ақуыздармен – металлопротеидтер кешенін түзеді, олар ферменттік процестерге әсер етеді және орталық жүйке жүйесінің бұзылуын тудырады. Сынап негізінен бүйректе (67%) және бауырда (33%) жиналады. Сынаппен улану өлімге әкелуі мүмкін [16].

Токсинді элементтердің ағзаға түсуінің негізгі жолы – бұл техногендік экотоксиканттардың әсеріне осал болатын асқазан-ішек жолдары. Осыған байланысты түйе сүті негізінде әзірленген пребиотикалық қасиеттері бар сүтқышқылды өнімнің токсинді элементтер тұздарымен ластану дәрежесін анықтау мақсатында зерттеу жұмыстары жүргізілді, нәтижелері 1 - кестеде келтірілген.

Кесте 1 – Пребиотикалық қасиеттері бар сүтқышқылды өнімнің құрамындағы токсинді элементтер, мг/кг

Токсинді элементтер көрсеткіштері	НҚ бойынша	Нақты нәтижелер	Сынақ әдістері НҚ бойынша
Қорғасын	0,02	0,004 аз	МЕМСТ 30178-96
Мышьяк	0,05	0,001 аз	МЕМСТ Р 51766-2001
Кадмий	0,02	0,002 аз	МЕМСТ 30178-96
Сынап	0,005	0,001 аз	МЕМСТ 26927-86

1 - кестеде келтірілген сынақ нәтижелерінен сүтқышқылды өнімде токсинді элементтер рұқсат етілген деңгейден аспайтынын көруге болады.

Антибиотиктер балық пен балық өнімдерін қоспағанда, тек жануарлардан алынатын тағамдарда кездеседі. Себебі, олар ветеринарияда малды аурудан қорғайтын құрал ретінде қолданылады. Мал шикізатын өндегенде олар дайын өнімге өтеді. Жануарлардан алынатын тамақ өнімдерінде тетрациклин тобының антибиотиктері, пенициллин және стрептомицин рұқсат етілген шекті концентрациямен шектеледі. Антибиотиктердің құрамының шектелуі олардың көпшілігінің адамдарды емдеу үшін де қолданылатындығына байланысты. Оларды үнемі тұтыну ағзаның тәуелділігіне әкеледі және ауырған жағдайда олардың емдік әсері болмауы мүмкін. Сонымен қатар, антибиотиктердің жанама әсерлері болуы мүмкін: аллергия тудырады, жүйке жүйесін бұзады, эндокриндік жүйеге белгілі бір әсер етеді, асқазан-ішек жолдарының пайдалы микрофлорасын өзгертеді, бұл қайталама бактериялық және саңырауқұлақ инфекцияларының дамуына әкелуі мүмкін.

Тағамда антибиотик қалдықтарының болуы адамдар үшін ерекше қауіпті және сүт өнеркәсібі үшін күрделі мәселе болып табылады, өйткені олар ұйытқы микрофлорасын тежеу арқылы өндіріс процесін бұзуы мүмкін. Бұл елеулі қаржылық шығындарға әкеледі.

Сүтте антибиотиктердің болуы оның қасиеттерін өзгертеді, мұндай сүтті тамақтануда қолданғанда антибиотиктерге жоғары сезімталдығы бар адамдарда аллергиялық реакциялар тудыруы мүмкін. Антибиотиктер, тіпті аз мөлшерде болса да, сүт өнімдерін өндіруде қолданылатын сүт қышқылды бактерияларының дамуын тежейді. Антибиотиктерге ең сезімтал термофильді стрептокок және сүт қышқылды таяқшалар.

Жұмысты орындау барысында түйе сүтінен алынған пребиотикалық қасиеттері бар сүтқышқылды өнімнің құрамындағы антибиотиктердің мөлшерін анықтау мақсатында жұмыстары жүргізілді, нәтижелері 2 - кестеде келтірілген.

Кесте 2 – Пребиотикалық қасиеттері бар сүтқышқылды өнімнің құрамындағы антибиотиктер, мг/кг

Антибиотиктер	НҚ бойынша	Нақты нәтижелер	Сынақ әдістері НҚ бойынша
Левомецетин (хлорамфеникол)	Рұқсат етілмейді, (0,0003 аз)	Табылмады	МЕМСТ 33526-2015
Тетрациклин тобы	Рұқсат етілмейді, (0,01 аз)	Табылмады	МЕМСТ 33526-2015
Стрептомицин	Рұқсат етілмейді, (0,2 аз)	Табылмады	МЕМСТ 33526-2015
Пенициллин	Рұқсат етілмейді (0,004 аз)	Табылмады	МЕМСТ 33526-2015

Кестедегі алынған нәтижелерден түйе сүтінен алынған пребиотикалық қасиеттері бар сүтқышқылды өнім үлгілерінің құрамында антибиотиктер табылмағанын көруге болады.

Өнімнің қауіпсіздігіне жауап беретін сапаның маңызды көрсеткіштерінің бірі – микробиологиялық көрсеткіштер. Тағам өнімдері – токсикоинфекцияға әкелетін алуан түрлі микроорганизмдердің дамуы үшін қолайлы орта. Тағамдық токсикоинфекциялар уланудың кенеттен дамуымен және сапасыз тағамды қабылдауды тоқтатып, оны ағзадан шығарғаннан кейін улану белгілерінің салыстырмалы түрде тез жойылуымен сипатталады. Тағамдық инфекциялардың инкубациялық кезеңі орта есеппен 6 сағаттан 24 сағатқа дейін созылады. Өндірісте, сақтау және өткізу кезінде санитарлық-гигиеналық талаптар сақталмаса, технологиялық циклдің әртүрлі кезеңдерінде тағам өнімдерінің сапасына сенімді бақылау жүргізілмесе, улану массивті болуы мүмкін. Уытты инфекцияны тудыруы мүмкін микроорганизмдерге ішек таяқшалары тобындағы бактериялар, сальмонеллалар, стафилококктар жатады. Олар микробиологиялық қауіпсіздік көрсеткіштерінің қатарына жатады.

*Listeria monocytogenes* – тағамда көбейе алатын таяқша тәрізді патогенді бактерия. *Listeria* адам ағзасына енгеннен кейін жасушалардың ішінде паразиттенеді, ол орталық жүйке жүйесіне немесе миға орны толмас зиян келтіруі мүмкін. Адамның листериозды жұқтыруының негізгі жолы – адамдар термиялық өңдеуден өтпеген немесе дұрыс сақталмаған әртүрлі тағамдарды (сүт өнімдері, көкөністер мен салаттар, ет және жарғылай фабрикалар) тұтынуы.

Сүт өнімдерінің микробиологиялық бұзылуының ең көп тараған себептері ашытқы мен зең болып табылады. Сүт қышқылды микроорганизмдер тағамның бұзылуына әкелетін ашытқылар мен зеңдердің өсуін тиімді тежеу мүмкіндігіне ие.

Жұмысты орындау барысында түйе сүтінен алынған пребиотикалық қасиеттері бар сүтқышқылды өнімнің микробиологиялық көрсеткіштеріне зерттеу жұмыстары жүргізілді, нәтижелері 3 - кестеде келтірілген.

Кесте 3 – Пребиотикалық қасиеттері бар сүтқышқылды өнімнің микробиологиялық көрсеткіштері

Микробиологиялық көрсеткіштер	НҚ бойынша	Нақты нәтижелер	Сынақ әдістері НҚ бойынша
ИТТБ 0,01 г өнімде	Рұқсат етілмейді	Табылмады	МЕМСТ 32901-2014
Стафилококктар <i>S.aureus</i> , 1,0 г өнімде	Рұқсат етілмейді	Табылмады	МЕМСТ 30347-2016
Ашытқылар, КТБ/г, көп емес	Көп емес 50,0	Табылмады	МЕМСТ 33566-2015
Зеңдер, КТБ/г, көп емес	Көп емес 50,0	Табылмады	МЕМСТ 33566-2015
Патогенді микроорганизмдер, соның ішінде сальмонелла, 25,0 г өнімде	Рұқсат етілмейді	Табылмады	МЕМСТ 31659-2012
<i>L. monocytogenes</i> , 25,0 г өнімде	Рұқсат етілмейді	Табылмады	МЕМСТ 32031-2012

Жүргізілген зерттеулер (4±2) °С температурада 7 күн сақтағанда сүтқышқылды өнім үлгілерінің микробиологиялық көрсеткіштерінде өзгерістер болмағанын көрсетті, атап айтсақ ішек таяқшалары тобындағы бактериялар, стафилококктар *S.aureus*, ашытқылар мен зеңдер, патогенді микроорганизмдер, соның ішінде сальмонеллалар, *Listeria monocytogenes* табылмады. Алынған өнім микробиологиялық тұрғыдан қауіпсіз, ал оларды өндірістік масштабта өндіру мақсатқа сай және өзекті болып табылады.

**Қорытынды.** Алынған мәліметтерден түйе сүтінен әзірленген пребиотикалық қасиет көрсететін сүтқышқылды өнім үлгілері Кеден одағының 033/2013 «Сүт және сүт өнімдерінің қауіпсіздігі туралы» техникалық регламентінде және Кеден одағының 021/2011 «Азық-түлік қауіпсіздігі туралы» техникалық регламентінде бекітілген сүтқышқылды өнімдердің қауіпсіздік көрсеткіштері бойынша рұқсат етілген деңгейде болғанын көрсетті.

#### Information about authors:

**Assembayeva Elmira Kuandykovna** – PhD, Senior Lecturer, Almaty Technological University, Department of Food Biotechnology, Almaty, Kazakhstan; e-mail: [elmiraasembaeva@mail.ru](mailto:elmiraasembaeva@mail.ru); <https://orcid.org/0000-0001-7964-7736>;

**Adilbekova Elmira Kalybayevna** – PhD, Senior Lecturer, Saken Seifullin Kazakh Agrotechnical University, Department of Microbiology and Biotechnology, Nur-Sultan, Kazakhstan; e-mail: [elmira.adilbekova@list.ru](mailto:elmira.adilbekova@list.ru); <https://orcid.org/0000-0001-8351-0505>;

**Toktamyssova Aiman Baybatyrovna** – Candidate of biological sciences, acting associate professor, Kazakh Russian Medical University Almaty, Kazakhstan; a.toktamys@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9215-8291>;

**Seidakhmetova Zaure Zhunusovna** – doctor of biological sciences, associate Professor, Almaty

Technological University, Department of Food Biotechnology, Almaty, Kazakhstan; e-mail: s.zaure@bk.ru; <https://orcid.org/0000-0002-9213-7391>;

**Beisembayeva Aigerim Bolatovna** – assistant, master of engineering science, Almaty Technological University, Department of Food Biotechnology, Almaty, Kazakhstan; e-mail: [erema\\_gera@mail.ru](mailto:erema_gera@mail.ru); <https://orcid.org/0000-0001-9476-6629>.

### ӘДЕБИЕТТЕР

[1] Belik S., Avetisyan Z., Podgorny I., Zhukova T., Mozhinskaya Yu. The medico-social characteristic of girls with various clinical forms of premenstrual syndrome // *Modern European Researches*. – 2016. – № 3. – С. 31-35.

[2] Малыгина В.Д., Антошина К.А., Лисовская Л.Е. Оценка безопасности кисломолочных продуктов повышенной биологической ценности // *Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Процессы и аппараты пищевых производств»*. 2015. - № 3. – С. 1-5.

[3] Контарева В.Ю., Крючкова В.В., Контарев И.В., Яценко Н.Н. Комплексный подход формирования качества // *Молочная промышленность*. – 2012. – № 7. – С. 68-69.

[4] Асембаева Э.К., Токтамысова А.Б., Сейдахметова З.Ж. Түйе сүті негізінде алынған пребиотикалық қасиеттері бар сүтқышқылды сусынның жарамдылық мерзімін анықтау // *Вестник Государственного университета имени Шакарима*. – 2020. – № 2(90). – С. 151-154.

[5] Assembayeva E.K., Galstyan A.G., Nurmukhanbetova D.E., Bazilbayev S.M., Strizhko M.N., Seidakhmetova Z.Zh. Principles of development of osmotically and biologically active compositions for technologies of fermented milk drinks // *News of the National academy of sciences of the Republic of Kazakhstan. «Series of geology and technical sciences»*. – Almaty, 2019. – №2. – P. 191-198. <https://doi.org/10.32014/2019.2518-170X.54> ISSN 2224-5278.

[6] Асембаева Э.К., Сейдахметова З.Ж., Токтамысова А.Б. Пребиотикалық қасиеттері бар көмірсулар композициясын қолдануды негіздеу // *Доклады НАН РК 2021*. – №4. – С. 13-20. <https://doi.org/10.32014/2021.2518-1483.53>.

[7] ГОСТ 30178-96 Сырье и продукты пищевые. Атомно-абсорбционный метод определения токсичных элементов. – М.: Стандартинформ, 2010. – 10 с.

[8] ГОСТ Р 51766-2001 Сырье и продукты пищевые. Атомно-абсорбционный метод определения мышьяка. – М.: Стандартинформ, 2011.- 10 с.

[9] ГОСТ 26927-86 Сырье и продукты пищевые. Методы определения ртути. М.: ИПК Издательство стандартов, 2002. – 14 с.

[10] ГОСТ 33526-2015 Молоко и продукты переработки молока. Методика определения содержания антибиотиков методом высокоэффективной жидкостной хроматографии. – М.: Стандартинформ, 2016. – 13 с.

[11] ГОСТ 32901-2014. Молоко и продукты, переработки молока. Методы микробиологического анализа. – М.: Стандартинформ, 2015. – 27 с.

[12] ГОСТ 30347-2016 Молоко и молочная продукция. Методы определения *Staphylococcus aureus*. – М.: Стандартинформ, 2016. – 16 с.

[13] ГОСТ 33566-2015 Молоко и молочная продукция. Определение дрожжей и плесневых грибов. – М.: Стандартинформ, 2016. – 16 с.

[14] ГОСТ 31659-2012 Продукты пищевые. Метод выявления бактерий рода *Salmonella*. – М.: Стандартинформ, 2014. – 25 с.

[15] ГОСТ 32031-2012 Продукты пищевые. Методы выявления бактерий *Listeria monocytogenes*. – М.: Стандартинформ, 2016. – 29 с.

[16] Гольдфейн М.Д., Адаев О.Н., Тимуш Л.Г., Заиков Г.Е., Ярошевская Х.М. Роль химических элементов и их соединений в природе и в процессах жизнедеятельности человека // *Вестник технологического университета*. – 2015. – Т.18, №16.– С. 304-313

### REFERENCES

[1] Belik S., Avetisyan Z., Podgorny I., Zhukova T., Mozhinskaya Yu. The medico-social characteristic of girls with various clinical forms of premenstrual syndrome // *Modern European Researches*. – 2016. – № 3. – S. 31-35.

[2] Malygina V.D., Antoshina K.A., Lisovskaya L.E. Assessment of the safety of oxygen-containing products of increased biological value // *scientific journal NIU ITMO. The series «process and apparatus of food production»*. 2015. - No. 3, - pp. 1-5.

[3] Kontareva V.Yu., Kryuchkova V.V., Kontarev I.V., Yatsenko N.N. complex approach to the formation of quality // milk industry. – 2012. - No. 7. - pp. 68-69.

[4] Asembayeva E.K., Toktamysova A.B., Seidakhmetova Z.Zh. Determination of the shelf life of a fermented milk drink with prebiotic properties obtained on the basis of camel milk // Bulletin of the State University named after Shakarima. – 2020. – № 2(90). - P. 151-154.

[5] Asembayeva E.K., Galstyan A.G., Nurmukhanbetova D.E., Bazilbayev S.M., Strizhko M.N., Seidakhmetova Z.Zh. Principles of development of osmotically and biologically active compositions for technologies of fermented milk drinks // News of the National academy of sciences of the Republic of Kazakhstan. «Series of geology and technical sciences». – Almaty, 2019. – № 2. – R. 191-198. <https://doi.org/10.32014/2019.2518-170H.54> ISSN 2224-5278.

[6] Asembayeva E.K., Seidakhmetova Z.Zh., Toktamysova A.B. Substantiation of the use of carbohydrate compositions with prebiotic properties // Dokladi NAN RK 2021. – No. 4. – P. 13-20. <https://doi.org/10.32014/2021.2518-1483.53>.

[7] GOST 30178-96 cheese and food products. Atomic absorption method of determination of toxic elements. Moscow: Standardinform, 2010, – 10 p.

[8] GOST R 51766-2001 cheese and food products. Atomic absorption method of determination of arsenic. Moscow: Standardinform, 2011. - 10 p.

[9] GOST 26927-86 cheese and food products. Methods of determination of the truth. Moscow: IPK publishing standards publ., 2002. – 14 p.

[10] GOST 33526-2015 Moloko and products of processing of Moloka. The method of determination of antibiotic containment is the method of highly effective Berry chromatography. Moscow: Standardinform, 2016. - 13 p.

[11] GOST 32901-2014. Moloko and products, processing of Moloka. Methods of microbiological analysis. Moscow: Standardinform, 2015. - 27 p.

[12] GOST 30347-2016 milk and milk products. Methods of determination of Staphylococcus aureus. Moscow: Standardinform, 2016. - 16 p.

[13] GOST 33566-2015 milk and milk products. Determination of tremors and sticky mushrooms. Moscow: Standard inform, 2016. - 16 p.

[14] GOST 31659-2012 food products. Method of elimination of salmonella bacteria. Moscow: Standardinform, 2014 – 25 p.

[15] GOST 32031-2012 food products. Methods of elimination of Listeria monocytogenes bacteria. Moscow: Standardinform, 2016. - 29 p.

[16] Goldfein M.D., Adaev O.N., Timush L.G., Zaikov G.E., Yaroshevskaya H.M. The Role of chemical elements and their combinations in the field and processes of human life // Bulletin of the Technological University. -2015. - VOL. 18, NO. 16. - P. 304-313.

REPORTS OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES  
OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN  
ISSN 2224-5227

Volume 1, Number 341 (2022), 12-20

<https://doi.org/10.32014/2022.2518-1483.127>

ӨЖ632.1; 632.3/4

МРНТИ68.37.31; 34.23.37; 34.15.23

**С.Б. Бакиров<sup>1\*</sup>, Қ. Ғалымбек<sup>1</sup>, А.К. Маденова<sup>2</sup>, К. Акан<sup>3</sup>, Н.С. Сафарова<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Абай атындағы Қазақ Ұлттық педагогикалық университеті, Алматы, Қазақстан;

<sup>2</sup>Қазақ Ұлттық аграрлық зерттеу университеті, Алматы, Қазақстан;

<sup>3</sup>Kırşehir Ahi Evran University, Kırşehir, Turkey.

E-mail: serikbakirov@mail.ru

**ҚАТТЫ ҚАРА КҮЙЕ (*Tilletiacaries* (DC.) Tul.) ПАТОГЕНІНЕ БИДАЙ ҮЛГІЛЕРІНІҢ  
ТӨЗІМДІЛІГІН СЫНАУ**

**Аннотация.** Бидайдың саңырауқұлақ ауруларының ішінде қатты қара күйе (*Tilletia caries* (DC.) Tul.) ауруы аса қауіпті кең таралған түрлерге жатады. Әдетте қара күйе ауруымен бидайдың 10% залалдануы, бидай өнімінің ысырап болуына әсер етіп қана қоймай, дән сапасының төмендеуіне алып келеді. Зерттеу жұмысында 25 қазақстандық күздік жұмсақ бидай сорты мен 23 Bt-изогенді линиялары қолданылды. Жасанды індеттік ортада Алматы облысының (*Tilletia caries* (DC.) Tul.) популяциясына бидай үлгілерінің төзімділігі сыналды. Зерттеу нәтижесі көрсеткендей бидай сорттарының 84% қатты қара күйеге төзімді деп табылды. 15 бидай сорты қатты қара күйеге жоғары төзімді деп ерекшеленді. Оларға Жетісу, Нуреке, Раминал, Динара, Егемен-20, Карасай, Реке, Тәлім, Қызыл бидай, Наз, Егемен, Мереке 70, Маншук, Жалын және Казахстанская 25 жатады. Қара күйеге 1-9% аралығында залалданған Сапалы, Алмалы, Алия, Красноводопадская 210, Богарная 56, Мереке 75 сорттары төзімді деп ерекшеленді. *Tilletia caries* (DC.) Tul. патогеніне Bt-изогенді линияларының 80% авируленттілік танытса, 20% вирулентті болды. Қатты қара күйе ауруының белгілерінің болмауына байланысты 18 изогенді линия жоғары төзімді деп ерекшеленді олар: M84-522 to 530, RB/SEL1403(Bt-2), M82-542 to 550, RB/TK 3055 (Bt-4), Red Bobs/Hohenheimer(Bt-5), M82-562 to 570), RB/TK3055(Bt-7), M78-9496, RB/PI 178210 (White Seed) (Bt-8), M84-597 to 605, RB/CI 7090. (Bt-9), M82-625, SEL M83-162(Bt-10), Doubi, DW(Bt-14), Carlton, DW(Bt-15), SEL 2092(Bt-1), SEL1102(Bt-2), Turkey 1558(Bt-4), Hohenheimer(Bt-5), Rio(Bt-6), R63-6968(Bt-10), M82-2123(Bt-8.9.10), P.I. 119333(M82-2141), BW (Bt-12) және Thwle III.P.I. 181463, BW (Bt-13). Аурмен 1 пайыз деңгейінде залалданған M84-532 to 538, RB/RDT (Bt-3) және Ridit (Bt-3) линиялары төзімді деп анықталды.

**Түйін сөздер:** бидай, қатты қара күйе, төзімділік, изогенді линиялар, инокуляция.

**С.Б. Бакиров<sup>1\*</sup>, Қ. Ғалымбек<sup>1</sup>, А.К. Маденова<sup>2</sup>, К. Акан<sup>3</sup>, Н.С. Сафарова<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Казахский Национальный педагогический университет им. Абая, Алматы, Казахстан;

<sup>2</sup>Казахский Национальный аграрный университет, Алматы, Казахстан;

<sup>3</sup>Kırşehir Ahi Evran University, Kırşehir, Turkey;

E-mail: serikbakirov@mail.ru

**ИСПЫТАНИЯ ОБРАЗЦОВ ПШЕНИЦЫ НА УСТОЙЧИВОСТЬ ПАТОГЕННОСТИ  
ТВЁРДОЙ ГОЛОВНИ (*TILLETIACARIES* (DC.) TUL.)**

**Аннотация.** *Tilletiacaries* (DC.) Tul. – одно из самых опасных грибковых заболеваний пшеницы. Как правило, 10% пшеницы, зараженной твердой головней, не только влияет на потерю урожая пшеницы, но и приводит к снижению качества зерна. В исследовании использовали 25 казахстанских сортов озимой мягкой пшеницы и 23 Bt-изогенные линии. Устойчивость образцов пшеницы к популяции *Tilletiacaries* (DC.) Tul. в Алматинской области испытывали в искусственной эпидемической среде. Результаты исследования показали, что 84% сортов пшеницы оказались устойчивыми к твердой

головне. 15 сортов пшеницы отличались высокой устойчивостью к твердой головне. К ним относятся сорта Жетысу, Нуреке, Раминал, Динара, Егемен-20, Карасай, Реке, Талим, Кызыл бидай, Наз, Егемен, Мереке 70, Маншук, Жалын и Казахстанская 25. Из Bt-изогенных линий 80% были авирулентны по отношению к возбудителю *Tilletia caries* (DC.) Tul, 20% – вирулентны. В связи с отсутствием симптомов твердой головки 18 изогенных линий показали себя как высокоустойчивые, чем другие линии: M84-522 to 530, RB/SEL 1403 (Bt-2), M82-542 to 550, RB/TK 3055 (Bt-4), Red Bobs/Hohenheimer (Bt-5), M82-562 to 570), RB/TK3055 (Bt-7), M78-9496, RB/PI 178210 (White Seed) (Bt-8), M84-597 to 605, RB/CI 7090. (Bt-9), M82-625, SEL M83-162 (Bt-10), Doubi, DW (Bt-14), Carlton, DW (Bt-15), SEL 2092 (Bt-1), SEL1102 (Bt-2), Turkey 1558 (Bt-4), Hohenheimer (Bt-5), Rio (Bt-6), R63-6968 (Bt-10), M82-2123 (Bt-8.9.10), P.I. 119333 (M82-2141), BW (Bt-12) и Thwle III.P.I. 181463, BW (Bt-13). Зараженных болезнью в количестве 1% линии M84-532 to 538, RB/RDT (Bt-3) и Ridit (Bt-3) были идентифицированы как устойчивые.

**Ключевые слова:** пшеница, твердая головня, устойчивость, изогенные линии, инокуляция.

**S.B. Bakirov<sup>1\*</sup>, K. Galymbek<sup>1</sup>, A.K. Madenova<sup>2</sup>, K. Akan<sup>3</sup>, N.S. Safarova<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Abai Kazakh National Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan;

<sup>2</sup>Kazakh National Agrarian Research University, Almaty, Kazakhstan;

<sup>3</sup>Kırşehir Ahi Evran University, Kırşehir, Turkey.

E-mail: serikbakirov@mail.ru

#### **RESISTANCE TESTING OF WHEAT SAMPLES TO COMMON BUNT (*Tilletia caries* (dc.) Tul.) PATHOGENS.**

**Abstract.** *Tilletia caries* (DC.) Tul is one of the most dangerous fungal diseases of wheat. As a rule, 10% of wheat, which infected with common bunt not only affects the loss of wheat yield, but also leads to a decrease in grain quality. This research work used 25 Kazakhstani varieties of winter soft wheat and 23 Bt-isogenic lines. Resistance of wheat accessions to *Tilletia caries* (DC.) Tul in the Almaty region was tested in an artificial epidemic environment. The results of the study showed that 84% of wheat varieties were resistant to common bunt. 15 varieties of wheat were highly resistant to common bunt. These include Zhetysu, Nureke, Raminal, Dinara, Egemen-20, Karasai, Reke, Talim, Kyzyl Bidai, Naz, Egemen, MEREKE 70, Manshuk, Zhalyln and Kazakhstanskaya 25. Of the Bt-isogenic lines, 80% were avirulent with respect to pathogen *Tilletia caries* (DC.) Tul, 20% are virulent. Due to the absence of common bunt symptoms, 18 isogenic lines showed themselves to be highly resistant than other lines: M84-522 to 530, RB/SEL 1403 (Bt-2), M82-542 to 550, RB/TK 3055 (Bt-4), Red Bobs/Hohenheimer (Bt-5), M82-562 to 570), RB/TK3055 (Bt-7), M78-9496, RB/PI 178210 (White Seed) (Bt-8), M84-597 to 605, RB/CI 7090 (Bt-9), M82-625, SEL M83-162 (Bt-10), Doubi, DW (Bt-14), Carlton, DW (Bt-15), SEL 2092 (Bt-1), SEL1102 (Bt-2), Turkey 1558 (Bt-4), Hohenheimer (Bt-5), Rio (Bt-6), R63-6968 (Bt-10), M82-2123 (Bt-8.9.10), PI 119333 (M82-2141), BW (Bt-12) and Thwle III.P.I. 181463, BW (Bt-13). Infected with 1% of the line M84-532 to 538, RB/RDT (Bt-3) and Ridit (Bt-3) were identified as resistant.

**Key words:** wheat; common bunt; resistant; isogenic lines; inoculation.

**Кіріспе.** *Tilletia caries* (DC) Tul. (= *T. tritici*) және *T. foetida* (Wallr.) Liro (= *T. laevis*) қатты қара күйе спораларын тудыратын (CB) бидай өнімін айтарлықтай төмендететін саңырауқұлақ аурулары. Қара күйемен залалданған өсімдіктер әдетте сау өсімдіктермен салыстырғанда сапасы төмен астық өнімдерін береді. Өсімдіктердің өнімділігі мен сапасының төмендеуі, дәндердің қатты қара күйе спораларымен залалдануына байланысты [1]. *Tilletia* sp. ауруы бидай өсірілетін барлық аймақтарда кездеседі. Ауырған бидай масақтарынан қатты қара күйенің 150 миллионға жуық спорасы табылады, бұл споралар орта есеппен үш миллион тұқымды ластайды. Ақпараттарға сәйкес өсімдіктер осы аурудан қорғалмаған жағдайда, залалдану 15-тен 20%-ға дейін өзгеруі мүмкін. Бірнеше жылдар бойы тұқымдарды химиялық өңдеусіз егу зақымданудың 75-90%-ға дейін жетуіне алып келді [2]. Бидайдың қатты қара күйесі бүкіл әлем бойынша бидай өндірісіндегі ең маңызды биотикалық тосқауылдардың бірі болып табылады. Аурудың таралуын төмендету және залалданбаған сапалы өнімдерді алу мақсатында тұқымдарды фунгицидтермен өңдеу ауыл шаруашылығында кеңінен қолданылады. Қазіргі заманғы пестицидтік препараттарды қолдану ауылшаруашылық өнімдерінің

тікелей жойылуына алып келеді. Олар тұқымдардағы және топырақтағы аурудың спораларын тиімді түрде жояды. Дегенмен, тұқым өңдейтін құралдарды қолдану әдісі қоршаған ортаға және адам денсаулығына зиян келтіреді. Өсімдіктерді қорғаудың бұл әдісі экономикалық тұрғыдан тиімсіз және органикалық егіншілікте қолданылмайды [3]. Арнайы микотоксиндер әлі анықталған жоқ, бірақ қатты қара күйе спорасының құрамындағы триметиламиннің жоғары деңгейі залалданған дақылдарда әдеттегі консервіленген балық тұздығының иісін тудырады [4]. Қатты қара күйе ерте заманнан бері бидай өндірісімен байланысты болды және қара күйе қоздырғыштары тұрақты түрде кездесіп отырды [5]. Қатты қара күйе Орталық Азияның барлық аймақтарында, соның ішінде Қазақстанның оңтүстік және оңтүстік-шығыс аймақтарында жиі кездеседі. Қазақстанның бұл аймақтарында негізінен күздік бидай өсіріледі. Солтүстік Африка мен Орталық Азия елдерінде зияндылығы жағынан қатты қара күйе тат ауруларынан кейін екінші орында тұр, егіннің 5-7%-на әсер етеді. Бұл елдерде тұқымның 40% ғана химиялық өңдеуден өтеді. 1990 жылдары Қазақстанның оңтүстік, оңтүстік-шығыс және шығыс облыстарында өңделмеген дәндерді егу күздік бидайдың қатты және ергежейлі қара күйесінің күрт дамуына әкелді. 1997-1998 жылдары Оңтүстік және Оңтүстік-Шығыс Қазақстанның кейбір шаруашылықтарында жиналған күздік бидай ұн мен мал азығын өңдеуге жарамсыз болды. Қатты және ергежейлі қара күйе бидай масақтарының 15-38% залалдады, яғни біреуі егіннің үштен бір бөлігін жойды [6]. Қойшыбаев пен Муминджановтың (2016) мәліметтері бойынша, 2000 жылдардың басында Қазақстанда күздік бидай дақылдарының қатты қара күйемен зақымдану аймағының көлемі өсті. Көптеген жылдар бойы Қазақстанда және әлемнің әртүрлі елдерінің бидай коллекцияларын зерттеу, сонымен қатар қатты қара күйе ауруына төзімділік көздерін анықтау мақсатында фитопатологиялық зерттеулер жүргізілуде. Әдеби деректерге сүйенсек, жер шарының әртүрлі экология-географиялық аймақтарында қара күйе ауруларына төзімділік көздерінің жеткілікті үлкен жиынтығы анықталған. Осылайша, жасанды инфекциялық фон құрылды [7]. Көптеген зерттеушілердің пікірінше, қатты қара күйемен күресу химиялық, агротехникалық және биологиялық әдістермен қатар, төзімді сорттарды өсіруді қамтуы керек. Жалпы қатты қара күйеге төзімділік Vt гендерімен анықталады [8]. Осы уақытқа дейін Vt1-Vt15 және Vtr деп белгіленген он алты төзімділік гендері анықталып, ген банкі құрылды [9]. Тұқымдарды фунгицидтермен өңдеу қатты қара күйемен күресудің тиімді жолы болуы мүмкін. Дегенмен генетикалық төзімділік, тұқымды химиялық өңдеудің әсерін азайтудың ең жақсы нұсқасы болып табылады, оны органикалық жүйелерде қолдануға болады [10]. 2020-2021 жылғы зерттеулерімізде Алматы облысының *Tilletia caries* (DC.) Tul патогеніне шетелдік және қазақстандық бидай үлгілерінің төзімділігін сынадық [11-13].

Өндірісте бидайдың қатты қара күйесіне төзімді сорттар іс жүзінде жоқ. Бидайдың төзімді сорттарын шығару, әсіресе эпифитотия жылдары өндірістің тұрақтылығын, сонымен қатар егістіктің сапасын, құнын және санитарлық-эпидемиологиялық қауіпсіздігін қамтамасыз етеді. Сондықтан да ауруға төзімді әрі жоғары өнімді бидай сорттарын өсіруге бағытталған зерттеулер әрқашан өзекті болып табылады.

**Зерттеу материалдары мен әдістері.** Зерттеу жұмысы Алматы қаласы маңындағы Алмалыбақ ауылына қарасты ЖШС “Қазақ егіншілік және өсімдік шаруашылығы ғылыми-зерттеу институтының” жасанды індет алқабында жүргізілді. Зерттеу материялы ретінде Қазақстанның бидай өсіретін аймақтарына егуге рұқсат етілген отандық 25 күздік жұмсақ бидай сорттары мен 23 Vt-изогенді линиялары қолданылды, ал қатты қара күйеге төзімсіз бақылау сорты ретінде Красноводопадская 25 алынды. Аурудың қоздырғышы ретінде Алматы облысының бидай өсірілетін аймақтарынан қатты қара күйенің (*Tilletia caries* (DC.) Tul.) спорасы жинап алынды.

Бидайды қара күйе спорасымен залалдауда ең тиімді әдістердің бірі Борггардта-Анпилогованың әдісі қолданылды, онда тұқым себуден бірнеше күн бұрын залалданады [14]. Әдетте инокуляция жасау үшін әр сорттың 100 тұқымын алып, кең пробиркаға, колбаға немесе қағаз пакетке салып дайындайды. Инокулумды дайындау қатты қара күйемен ауырған бидай дәндерін үгітіп ұсақ електен өткізуден тұрады. Дайын болған инокулумды (1:100) қатынасында тұқымдары бар ыдысқа салады. Тұқымдарды 2-3 минут бойы мұқият араластырып, содан кейін инокуляцияланған тұқымдарды егеді.

Зерттеуге алынған бидай үлгілерін *Tilletia caries* (DC.) Tul. спораларымен залалдануын бағалауда В.И. Кривченко шкаласы қолданылды [15].

Ол әдіс бойынша:

0 – жоғары төзімді, заладану көрсеткіші жоқ;

1 – төзімді, заладану көрсеткіші 10% - дан аспайды;

2 – әлсіз төзімсіз, заладану көрсеткіші 25% - дан аспайды;

3 – орташа төзімсіз, заладану көрсеткіші 50% - дан аспайды;

4 – жоғары төзімсіз, залалдану көрсеткіші 50% - дан көп.

Green Seeker (Trimble Navigation Limited, USA) – аппараты арқылы өсімдіктің биомассасының индексі өлшенді (NDVI – Normalized Difference Vegetative Index) [16]. Бидай піскен кезде орылып, құрылымдық талдау жұмыстары жүргізілді. Статистикалық мәліметтерді өңдеу Excel және Mini TAB 17 бағдарламаларында есептелінді [17,18].

**Зерттеу нәтижелері мен талқылаулар.** Жасанды індеттік ортада Bt-ның 23 изогенді линиясының қатты қара күйеге төзімділігі сыналды, кестедегі нәтижелерге сүйене отырып изогенді линиялардың басым бөлігінің *Tilletia caries* (DC.) Tul патогеніне төзімділік танытқанын көруге болады. Бидай масақтарының дәндерінде еш ауру белгілерінің байқалмауына байланысты 18 изогенді линия жоғары төзімді деп ерекшеленді. Олар мыналар M84-522 to 530, RB/SEL 1403 (Bt-2), M82-542 to 550, RB/TK 3055 (Bt-4), Red Bobs/Hohenheimer(Bt-5), M82-562 to 570), RB/TK3055(Bt-7), M78-9496, RB/PI 178210 (White Seed) (Bt-8), M84-597 to 605, RB/CI 7090 (Bt-9), M82-625, SEL M83-162(Bt-10), Doubi, DW(Bt-14), Carlton, DW(Bt-15), SEL 2092(Bt-1), SEL1102(Bt-2), Turkey 1558(Bt-4), Hohenheime(Bt-5), Rio(Bt-6), R63-6968(Bt-10), M82-2123(Bt-8.9.10), P.I. 119333(M82-2141), BW (Bt-12) және Thwle III.P.I. 181463, BW (Bt-13). Демек Bt-2, Bt-4, Bt-5, Bt-7, Bt-8, Bt-9, Bt-10, Bt-14, Bt-15, Bt-1, Bt-2, Bt-4, Bt-5, Bt-6, Bt-10, Bt-8.9.10, Bt-12 және Bt-13 гендері Алматы облысы жағдайында тимділігі жоғары деп айта аламыз.

Кесте1 - Жасанды індеттік ортада Bt гендерінің изогенді линияларының қатты қара күйе ауруына төзімділігі (Алмалыбақ, 2021ж).

Изогенді линиялар	Гендер	Қатты қара күйеге төзімділігі пайызбен %	Бағалау шкаласы
M84-504 to 510, RedBobs	Bt-0	24	2
M84-522 to 530, RB/SEL 1403	Bt-2	0	0
M84-532 to 538, RB/RDT.	Bt-3	1	1
M82-542 to 550, RB/TK 3055	Bt-4	0	0
RedBobs/Hohenheimer	Bt-5	0	0
M82-562 to 570, RB/TK3055	Bt-7	0	0
M78-9496, RB/PI 178210 (White Seed)	Bt-8	0	0
M84-597 to 605, RB/CI 7090.	Bt-9	0	0
M82-625, SEL M83-162	Bt-10	0	0
Doubi, DW	Bt-14	0	0
Carlton, DW	Bt-15	0	0
Heines VI	Bt-0	20	2
SEL 2092	Bt-1	0	0
SEL1102	Bt-2	0	0
Ridit	Bt-3	1	1
Turkey 1558	Bt-4	0	0
Hohenheime	Bt-5	0	0
Rio	Bt-6	0	0
Sel 50077	Bt-7	33	3
R63-6968	Bt-10	0	0
M82-2123	Bt-8-9-10	0	0
P.I. 119333(M82-2141), BW	Bt-12	0	0
Thwle III.P.I. 181463, BW	Bt-13	0	0

Аурмен 1 пайыз деңгейінде залалданған M84-532 to 538, RB/RDT(Bt-3) және Ridit(Bt-3) линиялары төзімді деп анықталды. Қатты қара күйеге әлсіз төзімсіздеп Heines VI(Bt-0) және M84-504 to 510, Red Bobs(Bt-0) анықталды, аталған линиялардың аурумен залалдану көрсеткіші 20-24% аралығында болды. Алматы облысы жағдайында *Tilletia caries* (DC.) Tul патогеніне төзімсіздеп Sel 50077(Bt-7) линиясын айтуға болады, бұл линияның аурумен залалдануы 3 баллды құрады (кесте 1, сурет 1).



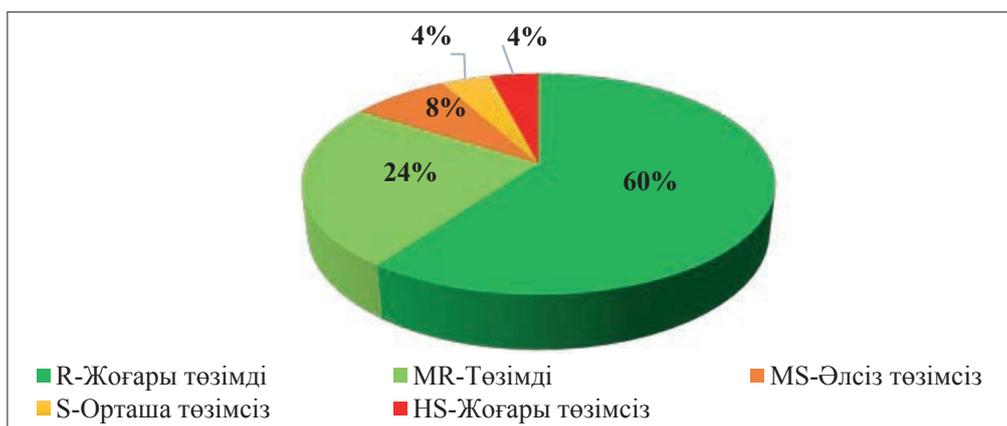
Сурет 1 – Bt - Изогенді линияларының *Tilletia caries* (DC.) Tul. популяциясына авируленттілік топтары

Зерттеудің келесі кезеңінде жасанды індеттік ортада 25 отандық күздік жұмсақ бидай сортын *Tilletia caries* (DC.) Tul патогеніне төзімділігі сыналды. Кестедегі нәтижеге сүйене отырып 15 бидай сорты (Жетысу, Нуреке, Раминал, Динара, Егемен-20, Карасай, Реке, Тәлім, Қызыл бидай, Наз, Егемен, Мереке 70, Маншук, Жалын және Казахстанская 25) қатты қарақүйеге жоғары төзімді деп ерекшеленді (кесте 2, сурет 2)

Кесте 2 – Жылыжайда күздік бидай сорттарының қара күйе ауруына төзімділігі Алмалыбақ, 2021 ж.

Сорт атауы	Жалпы масақ саны, дана	Залалданған масақ саны, дана	Ауруға фитопатологиялық бағалау	
			Залалданудеңгейі %	Дамуы
Жетысу	19	0	0	R
Алихан	20	3	15	MS
Даулет	31	15	48	S
Нуреке	25	0	0	R
Сапалы	11	1	9	MR
Раминал	15	0	0	R
Красноводопадская 25	16	13	81	HS
Динара	60	0	0	R
Егемен-20	22	0	0	R
Карасай	43	0	0	R
Красноводопадская 210	34	1	3	MR
Реке	51	0	0	R
Тәлім	8	0	0	R
Президент	35	5	14	MS
Қызыл бидай	41	0	0	R
Наз	38	0	0	R
Егемен	27	0	0	R
Богарная 56	78	1	1	MR
Алмалы	47	3	6	MR
Алия	63	4	6	MR
Мереке 75	55	1	2	MR
Мереке 70	23	0	0	R
Маншук	34	0	0	R
Жалын	97	0	0	R
Казахстанская 25	88	0	0	R

Аурумен 1-9% аралығында залалданған Сапалы, Алмалы, Алия, Красноводопадская 210, Богарная 56, Мереке 75 сорттары қатты қарақүйеге төзімді деп анықталды. Ауруға MS реакция көрсеткіші мен әлсіз төзімсіз деп Алихан және Президент сорттарын айта аламыз, залалдануы 14-15% құрады. Қатты қарақүйеге фитопатологиялық бағалау кезінде жалпы 31 масақтың 15-і аурумен залалданған Даулет сортын орташа төзімсіз деп есептейміз, аурумен залалдануы 48% құрады. *Tilletia caries* (DC.) Tul патогеніне жоғары төзімсіз деп Красноводопадская 25 сортын айтуға болады, аурумен залалдану көрсеткіші 81%.



Сурет 2 - Күздік бидай сорттарының *Tilletia caries* (DC.) Tul.популяциясына төзімді және төзімсіздерінің топтары.

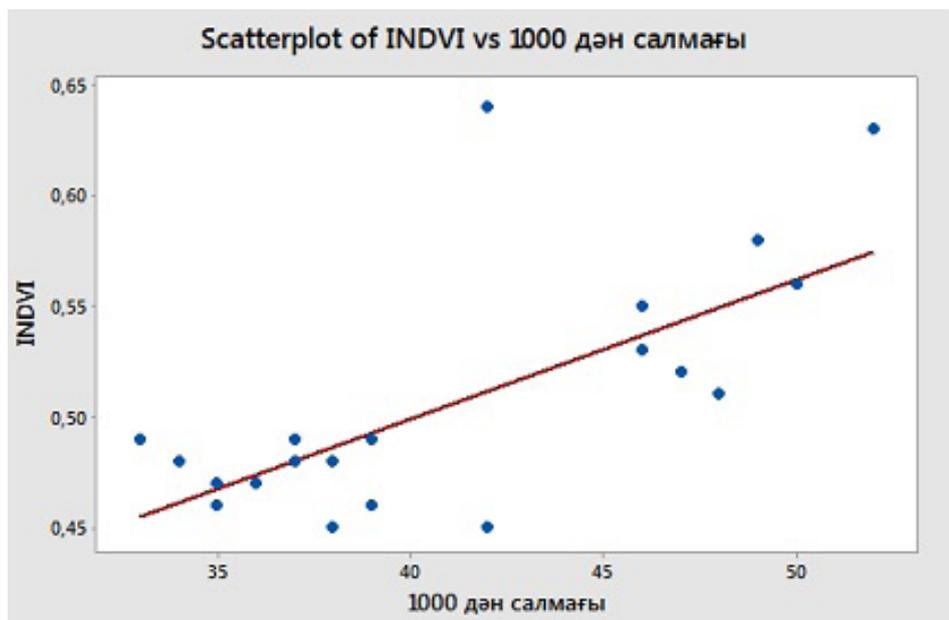
Бидай дамуының түтіктену, масақтану және гүлдеу кезеңдерінде биомасса индекс көрсеткішін есептедік. Үш кезеңінің биомасса көрсеткішінің орташа мәні 0.50 индекстік мәнге ие болған үлгілерді ең жоғары көрсеткішке ие деп айта аламыз. Олар Жетысу, Нуреке, Сапалы, Раминал, Карасай, Президент, Қызыл бидай, Алмалы, Мереке 70 және Маншук. Индекс көрсеткіші 0.45-0.49 аралығында болған Алихан, Красновоподская 25, Динара, Егемен-20, Красновоподская 210, Реке, Тәлім, Наз, Егемен, Мереке 75 және Жалын сорттарының биомасса көрсеткіші орташа деп анықталды. Ең төменгі биомасса көрсеткіш көрсеткен Даулет, Богарная 56 және Алия сорттарын айтуға болады, аталған сорттардың биомасса индекс көрсеткіші 0.45 болды.

Кесте 3 - Индекс биомасса көрсеткішінің (NDVI) нәтижелері 2021 ж

№	Бидай сорттарының атауы					
		I-ші есеп	II-ші есеп	III-ші есеп	Орта мәні	1000 дән салмағы г.
1	Жетысу	0,68	0,63	0,58	0,63	52
2	Алихан	0,55	0,45	0,42	0,47	36
3	Даулет	0,53	0,42	0,41	0,45	38
4	Нуреке	0,58	0,53	0,48	0,53	46
5	Сапалы	0,55	0,51	0,46	0,51	48
6	Раминал	0,62	0,55	0,51	0,56	50
7	Красновоподская 25	0,56	0,48	0,41	0,48	38
8	Динара	0,57	0,49	0,40	0,49	37
9	Егемен-20	0,55	0,49	0,42	0,49	39
10	Карасай	0,58	0,52	0,46	0,52	47
11	Красновоподская 210	0,55	0,44	0,40	0,46	39
12	Реке	0,56	0,45	0,43	0,48	37
13	Тәлім	0,55	0,47	0,42	0,48	34
14	Президент	0,65	0,57	0,51	0,58	49
15	Қызыл бидай	0,64	0,55	0,45	0,55	46
16	Наз	0,55	0,49	0,43	0,49	37
17	Егемен	0,56	0,47	0,44	0,49	33
18	Богарная 56	0,51	0,45	0,38	0,45	42
19	Алмалы	0,69	0,64	0,58	0,64	42
20	Алия	0,53	0,42	0,40	0,45	38
21	Мереке 75	0,54	0,44	0,41	0,46	35
22	Мереке 70	0,58	0,53	0,47	0,53	46
23	Маншук	0,55	0,50	0,47	0,51	48
24	Жалын	0,53	0,45	0,43	0,47	35

1000 дән салмағы 47 грамнан көп болған Жетысу, Сапалы, Раминал, Карасай, Красновоподская 210, Президент және Маншук ең жоғары көрсеткішке ие деп ерекшеленді. Аталған сорттардың биомасса индекс көрсеткіштерінде жоғары көрсеткіш көрсетті. 1000 дән салмағы 40-46 грамм аралығында болған Нуреке, Қызыл бидай, Богарная 56, Алмалы және Мереке 70 сорттары орташа көрсеткіш көрсетті. Қалған бидай сорттарының 1000 дән салмағы 40 грамнан аз болғаны үшін

төменгі көрсеткішке ие деп айта аламыз. 1000 дән салмағы мен индекс биомасса (NDVI) көрсеткіші арасындағы корреляциялық байланысты зерттеу нәтижесінде корреляция коэффициенті  $R=0,692$  жоғары оң дәрежеде корреляцияланды (сурет-1).



Сурет 1- Күздік бидай сорттарының 1000 дәннің салмағы мен индекс биомасса (INDVI) көрсеткіші арасындағы корреляциялық байланысы.

**Қорытынды.** Қорыта айтқанда жасанды індеттік ортада бидай үлгілерінің *Tilletia caries* (DC.) Tulпопуляциясына төзімділігі сыналды. 25 күздік жұмсақ бидай сортының арасынан 15бидай сорты қатты қаракүйеге жоғары төзімді деп ерекшеленді. Олар Жетысу, Нуреке, Раминал, Динара, Егемен-20, Карасай, Реке, Тәлім, Қызыл бидай, Наз, Егемен, Мереке 70, Маншук, Жалын және Казахстанская 25. Қара күйеге 1-9% аралығында залалданған Сапалы, Алмалы, Алия, Красноводопадская 210, Богарная 56, Мереке 75 сорттары төзімді деп ерекшеленді. 23 Bt-изогенді линияларының арасынан 18изогенді линия жоғары төзімді деп ерекшеленді. Олар M84-522 to 530, RB/SEL 1403 (Bt-2), M82-542 to 550, RB/TK 3055 (Bt-4), Red Bobs/Hohenheimer(Bt-5), M82-562 to 570), RB/TK3055(Bt-7), M78-9496, RB/PI 178210 (White Seed) (Bt-8), M84-597 to 605, RB/CI 7090. (Bt-9), M82-625, SEL M83-162(Bt-10), Doubi, DW(Bt-14), Carlton,DW(Bt-15), SEL 2092(Bt-1), SEL1102(Bt-2), Turkey 1558(Bt-4), Hohenheime(Bt-5), Rio(Bt-6), R63-6968(Bt-10), M82-2123(Bt-8.9.10), P.I.119333(M82-2141), BW (Bt-12) және Thwle III.P.I. 181463,BW (Bt-13). Аурумен 1 пайыз деңгейінде залалданған M84-532 to 538, RB/RDT(Bt-3) және Ridit (Bt-3) линиялары төзімді деп анықталды. Биомасса индекс көрсеткішінің 3 кезеңінің орташа мәні бойынша жоғары көрсеткішке ие болған 11 сорт ерекшеленді, олар Жетысу, Нуреке, Сапалы, Раминал, Карасай, Президент, Қызыл бидай, Алмалы, Мереке 70 және Маншук. 1000 дән салмағы 47 граммнан көп болғанЖетысу, Сапалы, Раминал, Карасай, Красноводопадская 210, Президент және Маншук ең жоғары көрсеткішке ие деп ерекшеленді.

#### Information about the authors:

**Serik Bakirov** – 3rd year doctoral student, Abai Kazakh National Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan; serikbakirov@mail.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-3313-2395>;

**Kanat Galymbek** – PhD Senior Lecturer, Abai Kazakh National Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan; galymbek@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7260-3669>;

**Aigul Madenova** – PhD, Senior Lecturer, Kazakh National Agrarian University, Almaty, Kazakhstan, madenova.a@mail.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-0349-749X>;

**Kadir Akan** – Assoc. Prof. Dr. Kırşehir Ahi Evran University, Agricultural Faculty Department of Plant Protection,Kırşehir, Turkey; kadir\_akan@hotmail.com, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-1612-859X>;

**Nurjamal Safarova** – 2nd year doctoral student, Abai Kazakh National Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan; nurjamal\_girl@mail.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-6171-1549>.

**ӘДЕБИЕТТЕР:**

- [1] Mourad A., Mahdy E., Bakheit B.R., Abo-elwafaa A., Baenziger P.S. Effect of common bunt infection on agronomic traits in wheat (*Triticum aestivum* L.). *J plant Genet Breed.* (2018) :1–7.
- [2] Akan K., Cetin L., Albostan S., Dusunceli F., Mert Z. (2014): Important cereals and chickpea diseases in Central Anatolia. *Journal of Central Research Institute for Field Crops*, 15: 29–48.
- [3] Yorgancılar A. et al. Screening Turkish and IWWIP germplasm (International winter wheat improvement program) for common bunt (*Tilletia foetida* (wallr.) Liro, *Tilletia caries* (DC) Tul.) resistance under eskisehir field conditions. XIX Intern. Workshop on smuts and bunts (May 3-6). Izmir. (2016). C. 54-55.
- [4] Chen J. et al. A novel QTL associated with dwarf bunt resistance in Idaho 444 winter wheat. *Theoretical and Applied Genetics.* (2016). T. 129. №. 12. C. 2313-2322.
- [5] Gaudet D. et al. Common bunt of wheat: an old foe remains a current threat. *Disease resistance in wheat.* (2012). C. 220-235.
- [6] Koishybayev M. (2018). *Wheat diseases.* Ankara: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 365 p.
- [7] Koishybayev M., Muminjanov H. (2016). *Screening of cereals to diseases, pests and weeds.* Ankara: Guidelines, FAO SEC. 28 p.
- [8] Matanguihan J.B., Murphy K.M., Jones S.S. Control of common bunt in organic wheat. *Plant disease.* (2011). T. 95. №. 2. C. 92-103.
- [9] Goates B.J. Identification of new pathogenic races of common bunt and dwarf bunt fungi, and evaluation of known races using an expanded set of differential wheat lines. *Plant disease.* (2012). T. 96. №. 3. C. 361-369.
- [10] Ciucă M.A. preliminary report on the identification of SSR markers for bunt (*Tilletia* sp.) resistance in wheat. *Czech J Genet Plant Breed.* (2011) :47-142.
- [11] Madenova A., Galymbek K., Kokhmetova A., Bakirov S.B., Keishilov Z. (2021). SEARCHING FOR RESISTANCE SOURCES TO WHEAT COMMON BUNT (*Tilletia caries* (DC.)). *Научный журнал «Вестник НАН РК»*, (1), 50-57.
- [12] Madenova A., Kokhmetova A., Sapakhova Z., Galymbek K., Keishilov Z., Akan K. & Yesserkenov A. (2020). Effect of common bunt [*Tilletia caries* (DC) Tul] infection on agronomic traits and resistance of wheat entries. *Research on Crops*, 21(4), 791-797.
- [13] Madenova A., Sapakhova Z., Bakirov S., Galymbek K., Yernazarova G., Kokhmetova A., Keishilov Z. (2021). Screening of wheat genotypes for the presence of common bunt resistance genes. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 28(5), 2816-2823.
- [14] Борггард А.И. Избранные труды по фитопатологии. М. (1961). С. 207-215.
- [15] Кривченко В.И. Устойчивость зерновых колосовых к возбудителям головневых болезней. – М.: Колос, (1984). 209- 224.
- [16] Chu D., Lu L., Zhang T. Sensitivity of Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) to Seasonal and Intranasal Climate Conditions in the Lhasa Area, Tibetan Plateau, China. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research.* (2007). Vol. 39 (4) P. 635-641.
- [17] Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). - 5-е изд., доп. и перераб.-М.: Агропромиздат, (1985). 351 с.
- [18] Minitab. Minitab 17 Statistical Software. Available online: <https://www.minitab.com/en-us/> accessed on 21 May (2021).

**REFERENCES**

- [1] Mourad A., Mahdy E., Bakheit B.R., Abo-elwafaa A., Baenziger P.S. Effect of common bunt infection on agronomic traits in wheat (*Triticum aestivum* L.). *J plant Genet Breed.* (2018) :1–7. (in Eng.).
- [2] Akan K., Cetin L., Albostan S., Dusunceli F., Mert Z. (2014) Important cereals and chickpea diseases in Central Anatolia. *Journal of Central Research Institute for Field Crops*, 15: 29–48 (in Eng.).
- [3] Yorgancılar A. et al. Screening Turkish and IWWIP germplasm (International winter wheat improvement program) for common bunt (*Tilletia foetida* (wallr.) Liro, *Tilletia caries* (DC) Tul.) resistance under eskisehir field conditions. XIX Intern. Workshop on smuts and bunts (May 3-6). Izmir. (2016). C. 54-55. (in Eng.).
- [4] Chen J. et al. A novel QTL associated with dwarf bunt resistance in Idaho 444 winter wheat. *Theoretical and Applied Genetics.* (2016). T. 129. №. 12. C. 2313-2322. (in Eng.).
- [5] Gaudet D. et al. Common bunt of wheat: an old foe remains a current threat. *Disease resistance in wheat.* (2012) C. 220-235. (in Eng.).

- [6] Koishybayev M. (2018). Wheat diseases. Ankara: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 365 p. (in Eng.).
- [7] Koishybayev M., Muminjanov H. (2016). Screening of cereals to diseases, pests and weeds. Ankara: Guidelines, FAOSEC. 28 p. (in Eng.).
- [8] Matanguihan J.B., Murphy K.M., Jones S.S. Control of common bunt in organic wheat. *Plant disease*. (2011) T. 95. №. 2. C. 92-103. (in Eng.).
- [9] Goates B.J. Identification of new pathogenic races of common bunt and dwarf bunt fungi, and evaluation of known races using an expanded set of differential wheat lines. *Plant disease*. (2012). T. 96. №. 3. C. 361-369. (in Eng.).
- [10] Ciučă M.A. preliminary report on the identification of SSR markers for bunt (*Tilletia* sp.) resistance in wheat. *Czech J Genet Plant Breed*. (2011) :47-142 (in Eng.).
- [11] Madenova A., Galymbek K., Kokhmetova A., Bakirov S.B. & Keishilov Z. (2021). SEARCHING FOR RESISTANCE SOURCES TO WHEAT COMMON BUNT (*Tilletia caries* (DC.)). *Научный журнал «Вестник НАН РК»*, (1), 50-57. (in Eng.).
- [12] Madenova A., Kokhmetova A., Sapakhova Z., Galymbek K., Keishilov Z., Akan K. & Yesserkenov A. (2020). Effect of common bunt [*Tilletia caries* (DC) Tul] infection on agronomic traits and resistance of wheat entries. *Research onCrops*, 21(4), 791-797. (in Eng.).
- [13] Madenova A., Sapakhova Z., Bakirov S., Galymbek K., Yernazarova G., Kokhmetova A., Keishilov Z. (2021). Screening of wheat genotypes for the presence of common bunt resistance genes. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 28(5), 2816-2823. (in Eng.).
- [14] Borggard A.I. Selected works on phytopathology. - M. (1961). S. 207-215 (in Russ.).
- [15] Krivchenko V.I. Resistance of grain crops to pathogens of smut diseases [Ustojchivost' zernovyhkolosovyh k vozбудiteljamgolovnevnyh boleznej]. – M.: Kolos, (1984). S. 209- 224 (in Russ.).
- [16] Chu D., Lu L., Zhang T. Sensitivity of Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) to Seasonal and Intranasal Climate Conditions in the Lhasa Area, Tibetan Plateau, China // *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*. (2007). Vol. 39 (4). P. 635-641.(in Eng.).
- [17] Dospheov B.A. Field experience methodology (with the basics of statistical processing of research results) - 5-e izd., dop. ipererab.-M.: Agropromizdat, (1985). (in Russ.).
- [18] Minitab. Minitab 17 Statistical Software. Available online: <https://www.minitab.com/en-us/> accessed on 21 May (2021). (in Eng.).

REPORTS OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES  
OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

ISSN 2224-5227

Volume 1, Number 341 (2022), 21-26

<https://doi.org/10.32014/2022.2518-1483.128>

UDK 634.582.232.

G.N. Kalykova<sup>1</sup>, I.K. Kupsuralieva<sup>1</sup>, A.O. Sagitov<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>P.A. Gan Research and Production Center for Forest Research Institute of Biology of the National Academy of Sciences of the Kyrgyz Republic, Bishkek, Kyrgyz Republic;

<sup>2</sup>LLP «Kazakh Research Institute for Plant Protection and Quarantine named after Zh. Zhiembaev»,  
Almaty, Kazakhstan.

E-mail: a\_sagitov@mail.ru

PESTS AND DISEASES OF SEMYONOV FIRS IN KYRGYZSTAN

**Abstract.** Today the forestry of the Kyrgyz Republic is facing the needs to solve interrelated social, economic and environmental problems. Current and future forests state is alarming. A number of forest ranges in Kyrgyzstan are distressed and have lost their biological stability. In general, the presence of entomological and phytopathological pests in the forest is also part of the entire forest biodiversity created by nature itself. The sanitary condition of fir forests can currently be assessed relatively positive. Nevertheless, hazardous organisms are found in them. In the process of vital activity of these hazardous organisms, healthy trees dry out, plantings lose their role and ability to natural regeneration. The most common pests of fir forests are pine *Dioryctria abietella* Schiff., *Megastigmus* (*Megastigmus* Sp.), *Adelges* (*Aphrastasia pectinatae* Chol.) Among the diseases of Semyonov fir, the most widespread in the nursery is fusarium lesion of seedlings, and in natural stands – rust (*Melampsorella cerastii* Wint.), and cenangium cancer (*Cenangium abietis* (Pers.) Reh. Duby, 1896). Another most common disease is *Alternaria* blight caused by an imperfect fungus *Alternaria alternata* (Fr.) Keissler. The most dangerous disease of Semyonov fir is root rot, caused by the pine fungus *Fomitopsis annosa* (Fr.) Karst. 1881. Also pathogens of dangerous fungal diseases were found on Semyonov fir (*Trichothecium roseum* (Pers.) Link 1809 and *Muxotrichum chartarum* Kunze, 1823).

**Key words:** fir, fir forests, fungi, pathogens, pests, fungicides.

Г.Н. Калыкова<sup>1</sup>, И.К. Купсуралиева<sup>1</sup>, А.О. Сагитов<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Қырғыз Республикасы ҰҒА биология институтының П.А. Гана атындағы ормандарды зерттеу ғылыми-өндірістік орталығы, Бішкек, Қырғызстан;

<sup>2</sup>«Ж. Жиёмбаев атындағы Қазақ өсімдік қорғау және карантин ғылыми зерттеу институты» ЖШС,  
Алматы, Қазақстан.

E-mail: a\_sagitov@mail.ru

ҚЫРҒЫЗСТАНДАҒЫ СЕМЕНОВ САМЫРСЫНЫНЫҢ ЗИЯНКЕСТЕРІ МЕН АУРУЛАРЫ

**Аннотация.** Бүгінде Қырғыз Республикасының орман шаруашылығында өзара байланысты әлеуметтік, экономикалық және экологиялық мәселелерді шешу қажеттілігі туындап отыр. Халықты ормандардың қазіргі және болашақ жағдайы алаңдатады. Қырғызстандағы бірқатар орман алқаптары қиын жағдайда және биологиялық тұрақтылығын жоғалтуда.

Орманда энтомологиялық және фитопатологиялық микроорганизмдердің болуы табиғаттың өзі жасаған бүкіл орман биоәртүрлілігінің бөлігі болып табылады. Қазіргі уақытта шырша ормандарының санитарлық жағдайын салыстырмалы түрде оң бағалауға болады. Алайда оларда қауіпті организмдер табылды. Осы қауіпті организмдердің тіршілік ету процесінде сау ағаштарға әсер етеді, екпелер өздерінің рөлі мен табиғи жаңару қабілетін жоғалтады. Шырша ормандарының ең көп таралған зиянкестеріне *Dioryctria abietella* Schiff., *Megastigmus* (*Megastigmus* Sp.), *Adelges* (*Aphrastasia pectinatae* Chol.) Семенов майқарағайы ауруларының арасында көшеттерге фузариозды зақымдану, ал табиғи екпелерде тат (*Melampsorella cerastii* Wint.) кең таралған және қатерлі ісік ценангия (*Cenangium*

abietis (pers.) Reh. Дуби, 1896. Тағы бір кең таралған ауру-*Alternaria alternate* (FR) жетілмеген саңырауқұлақтарынан туындаған альтернариоз.) Кейслера. Семенов шыршасының ең қауіпті ауруы-қарағай саңырауқұлақтарынан туындаған тамыр шірігі *Fomitopsis annosa* (Fr.) Karst. 1881. Семенов шыршасынан (*Trichothecium roseum* (Pers.) Link 1809 және *Muxotrichum chartarum* Kunze, 1823) қауіпті саңырауқұлақ ауруларының қоздырғыштары табылды.

**Түйін сөздер:** самырсын, самырсынды орман, саңырауқұлақтар, ауру қоздырғыштар, зиянкестер, фунгицидтер.

**Г.Н. Калыкова<sup>1</sup>, И.К. Купсуралиева<sup>1</sup>, А.О. Сагитов<sup>2\*</sup>**

<sup>1</sup>Научно-производственный центр исследования лесов им. П.А. Гана Института биологии НАН Кыргызской Бишкек, Республики;

<sup>2</sup>ТОО «Казахский научно-исследовательский институт защиты и карантина растений им. Ж. Жиембаева», Алматы, Казахстан.

E-mail: a\_sagitov@mail.ru

### **ВРЕДИТЕЛИ И БОЛЕЗНИ ПИХТЫ СЕМЕНОВА В КЫРГЫЗСТАНЕ**

**Аннотация.** Сегодня лесное хозяйство Кыргызской Республики сталкивается с необходимостью решения взаимосвязанных социальных, экономических и экологических проблем. Нынешнее и будущее состояние лесов вызывает тревогу. Ряд лесных массивов в Кыргызстане находятся в бедственном положении и потеряли свою биологическую стабильность.

Присутствие энтомологических и фитопатологических вредителей в лесу является частью всего лесного биоразнообразия, созданного самой природой. Санитарное состояние еловых лесов в настоящее время можно оценить относительно положительно. Тем не менее, в них обнаружены опасные организмы. В процессе жизнедеятельности этих опасных организмов здоровые деревья высыхают, насаждения теряют свою роль и способность к естественному возобновлению. Наиболее распространенными вредителями еловых лесов являются сосновые *Dioryctria abietella* Schiff., *Megastigmus* (*Megastigmus* Sp.), *Adelges* (*Aphrastasia pectinatae* Chol.). Среди болезней пихты Семенова наиболее распространенным в питомнике является фузариозное поражение семян, а в естественных насаждениях – ржавчина (*Melampsorella cerastii* Wint.) и рак ценангия (*Cenangium abietis* (pers.) Reh. Дуби, 1896). Другим наиболее распространенным заболеванием является альтернариоз, вызываемый несовершенным грибом *Alternaria alternate* (фр.) Кейслера. Наиболее опасным заболеванием пихты Семенова является корневая гниль, вызываемая сосновым грибом *Fomitopsis annosa* (FR) Karst. 1881. Также возбудители опасных грибковых заболеваний были обнаружены на пихте Семенова (*Trichothecium roseum* (Pers.) Link 1809 и *Muxotrichum chartarum* Kunze, 1823. *Muxotrichum chartarum* Kunze, 1823).

**Ключевые слова:** пихта, пихтовые леса, грибы, возбудители болезней, вредители, фунгициды.

**Introduction.** Semyonov fir or Turkestani (*A. Semonovii* Fedtsch) was first described by Professor B.A. Fedchenko in 1898 on the territory of Kyrgyzstan in the gorges of Besh-Tash of the Talas ridge. Fir trees grow in conditions of highly intersected terrain of high and medium mountains. These forests were formed on the basis of elements of tertiary complex of coniferous and coniferous-deciduous forests. They were separated from the Altai coniferous forests as a result of the Tien-Shan break. Their range is confined to the Western Tien Shan, Chatkal, Talas, At-Oynok, Uzun-Akhmat, Susamyr ranges and the Kokirim-Too Mountains. Plantings of the III-IV classes of bonitet with completeness from 0,4-0,8 predominate. They are confined mainly to the slopes of the northern exposure and occupy slopes from 1700-2700 m above sea level, where mountain-forest dark-brown soils of different thickness are common.

Semyonov fir in the past, had a common area with such species as Siberian fir, Himalayan fir and Gembila, and they may have descended from a common ancestor. Among them, only Siberian fir has the greatest geographical distribution. The main differences between it and the Tien Shan fir are the shorter needles and the absence of mechanical cells in it. Quite close to the Semyonov fir are also Central Asian firs – Himalayan and Gembila, which are distinguished by longer needles and cones.

The flora of fir forests is very diverse and is associated with the fact that this area is located at the junction between the North and South of Kyrgyzstan, and therefore you can find plants from both regions here. More

than 700 species of higher flowering plants have been recorded in this area, including about 150 tree and shrub species. Dark coniferous forests on the northern slopes alternate with meadow-steppes and meadows, and light coniferous forests on the southern slopes-steppes and meadow-steppes. Below the coniferous forests grow juniper forests from juniper hemispherical and Zeravshan. Even lower, the slopes are covered with shrubs, here you can also find pistachios and almonds. In the Chatkal range, together with fir, there are Tien Shan spruce, Sivers and Kyrgyz apple trees, walnut, Turkestan and Semyonov maple, karkas, Tien Shan and Persian mountain ash, and hawthorn species (Turkestan, Dzungarian, Pontic and Altai). Along the floodplains of the rivers there are various types of willows and poplars, Turkestan birch, curve, maples, Sogdian ash and magalebka cherry. From the bushes there are various types of rosehips: loose, broad-thorned, Albert, Fedchenko, exochord Tien Shan, spirea joey leaf, Altman's and Karelin's honeysuckle, barberry oblong and variegated, Sogdian and Ferghana plum, aflatunia elm leaf, Meyer's currant, blue blackberry, cherries: Tien Shan, red-fruited, Alai and abelia [Bikirov Sh.B., 2011].

Great damage to these forests was caused by mining felling, in which only the most valuable, the best specimens of fir were selected. This led to a decrease in the genetic potential of the species, a decrease in the protective, sanitary-hygienic and aesthetic properties of the forest. In this regard, the Semyonov fir was listed in the Red Book of Kyrgyzstan as a rare endemic species.

**Research materials and methods.** The research work was carried out in two stages, in the field and in the laboratory. The first stage is the allocation of permanent and temporary sample areas, and the collection of samples for mycological studies. As a result, according to the method [Zhukov A.M. 2001; Zhuravlev I.I. 1954], the selected samples were stored in specially sterilized bags. Growing trees were evaluated according to the four growth categories proposed by [Sinadsky Yu.V. 1977]. The degree of damage to the substrates was determined by the destruction scale [Gordienko P.V. 1985]. At the second stage of the research, the species composition of the fungi was determined. For this purpose, preparations were used [Zhuravlev I.I. 1954] in accordance with the wet chamber method. Tinder fungi are defined according to the scheme [Komarova E.P. 1964]. Simple microscopic preparations were prepared for fungal spores [Kirai Z. 1974; Komarova E.P. 1964]. Phenological and microclimatic observations in the nursery were carried out by generally accepted methods.

**Research result.** Semyonov fir in the Kyrgyz Republic currently occupies 3714 hectares of forests. As a result of the survey in the remote gorges of the mountains, we have identified the most valuable natural populations (genetic reserves) of the Semyonov fir, which are of great scientific, historical and economic importance. They are located in the Toktogul forestry: in the tracts of Karo-Karagay, Bugulu-Tor, Kan-Jailoo, Usta-Sai, Kuraryk, Itagar; in the Avletim forestry in the tracts of Batrakhhan. The plantings here consist mainly of well-developed, healthy, multi-aged fir trees. Completeness is from 0.5 to 1.0. The optimum growth of Semyonov fir is confined to altitudes-2000-2500 m above sea level, the height of individual specimens reaches more than 30 m with a diameter of more than 1 m. The Semyonov fir tree lives up to 300 years.

Studies have found that the greatest harm to fir is caused by pests of cones, berries and seeds. As a result of the research, it was revealed that fir cones and seeds are damaged by the fir cone firefly (*Dioryctria abietella* Schiff.) and seed beetles of the genus (*Megastigmus* Dalm.).

In the years of good harvests, the spruce cone firefly of the Lepidoptera order damages a single number of fir cones up to 2.2%, and in a low-yielding year, the activity of the firefly increases, and it damages up to 17% of the cones [Bikirov Sh.B., 1984]. This pest [Ashimov K S., Kachibekova E.N., 1998.] damages up to 90% of cones. Infected bumps are twisted. The caterpillars feed on scales, seeds, strongly wear out the cones, gnaw the rod. The biology of the pest has not been sufficiently studied. The larvae feed in cones until the end of September, then they overwinter in cocoons, which are white, soft, translucent covers with which the caterpillar covers its body, attaching to the scales of the cone.

A characteristic feature of the cones and seeds pests is a hidden lifestyle during the feeding period. The main harm they cause in the larval stage. Pests of cones and fir seeds negatively affect the volume and quality of the annual crop, destroying most of it or the entire crop. All this worsens the sanitary condition of forests and their natural renewal, and also leads to an undesirable replacement of valuable forest-forming species by less valuable in economical means. Damaged seeds, collected together with undamaged ones, reduce the grade of the harvested seeds. The most dangerous, among all above-listed pests of fir seeds is the fir seed eater. In fact, fir forests in some cases are infection foci of seed eaters of *Megastigmus* Dalm. Usually, the infestation of fir seeds with seed eaters annually amounts to 25-30%, in some years it reaches 90%. In production conditions, large areas occupied by fir forests, the protection of fir cones from fir seed eaters is not carried out, except for special chemical control measures, in the form of various experimental developments carried out during scientific research on a limited area of the forest, i.e. on groups of trees.

Another pest particularly seen on fir is spruce-fir brown hermes (*Aphrastasia pectinatae* Chol.) - coniferous plants pest, affecting fir, larch, spruce, various types of pines. Brown spruce-fir hermes develops on spruce and fir. During the feeding process of the brown spruce-fir hermes, the larvae concentrate on the underside of the fir needles. With mass population, the trees are covered with abundant secretions, on which soot fungi develop. During the season, 3-4 generations of hermes can develop. Aphids feed on the lower side of the needles, and yellow spots appear on the upper side in the places of sucking. With a large number of hermes, the needles turn yellow and crumble, weakened trees die within a few years. Mature trees under normal soil conditions, optimal humidity and light are more stable, and hermes develops sporadically. The pest feeds and develops normally only on fir trees.

Control measures are preventive spraying of plants in the spring, repeatedly - during the regrowth of young shoots and with a large number of pests in the summer with one of the following chemicals: fufanon, aktellik, decis Profi, kemifos, molniya, komandor, iskra, inta-vir.

In addition to the above mentioned, pests and diseases of other tree species growing here are found on the fir forest enterprise territories of the Western Tien Shan. The main ones are leaf beetles and stem pests (barbels, bark beetles) that affect poplar, willow and elm tree species. Ringed silkworm-shrubs (mountain cherry, rosehip, etc.), Dutch disease – elm and others.

Leaf beetles and barbels cause significant damage to forestry. In some years, leaf beetles in nurseries destroy up to 100% of transplant sections with rooted cuttings of poplar and willow. Measures to control leaf beetles in nurseries, due to poor-quality chemicals obtained in plant protection services, do not give positive results. Over the past 10-15 years, the large Ferghana barbel has become widespread, which has increased its number from the valley zone and settled in the mountain zone. It damages almost all types of trees. The main reason for the rapid spread of the barbel is the large trees untimely cutting and tree surgery. In most cases, the time of carrying out these works coincides with the time of laying eggs by the barbel. As a result, on moistened fresh sections of trees, larvae emerge from the laid clutches of the barbel, which, feeding on wood, develop and completely damage the trunk part of the tree. As a result, the tree completely dies or breaks. There are no effective measures to control the barbel today [Toktoraliev B.A., et al., 2006].

Among the diseases of the Semyonov fir, the most widespread in the nursery is fusarium damage to seedlings, and in natural plantings – rust and cenangial cancer.

Planting material diseases grown in forest nurseries cause great harm to forestry, as in some cases they lead to the death of a significant part of fir seedlings, up to 30-70%. A special danger for seedlings is fusarium, which causes lodging of plants when they are grown in a nursery. This disease causes rotting of seeds and seedlings, wilting of seedlings and seedlings. The disease is focal in nature, and the plants die in clump. The main method of fir seedlings protection from fusariosis is considered to be the active method, i.e. suppression of the causative agent of the disease at the activation time by chemicals in combination with high agricultural technics. Except available control measures against this disease, usually it is practiced only fir seeds, sprouts and seedlings treatment by a solution of potassium permanganate, which give a relatively high effect.

The fungus *Cenangium abietis* (Pers.) Rehm. it was identified in the South of Kyrgyzstan as the causative agent of the dangerous fir disease “cenangial cancer”, which leads dry out of the shoots in the affected areas, as well as yellowing and falling of needles. In the end, the disease leads to the death of the entire plant, the undergrowth especially suffers. It should be noted that this disease appeared relatively recently in the areas where Semyonov fir grows and has already caused significant damage in the Sary-Chelek State Biosphere Reserve [Totubaeva N.E., et al., 2003]. As one of the methods of biological control of coenangial cancer of fir, it is recommended to control harmful insects (goldfish, sawfly, bark beetle) that damage both young and old trees and thereby contribute to the penetration of infection into plants. Also, as an additional control measure, it is recommended to select or introduce tree forms that are resistant to the most dangerous diseases [Ashimov K.S., 2004; Bilder I.V., 1999].

In natural forest stands, Semyonov fir is most strongly affected by rust fungi, they affect the branchwoods of fir trees. A characteristic sign of the affection is the thickening and cracking of the branchwoods in the affected area. In the spring, spore clumps appear on the affected branches in the form of a gelatinous yellow-brownish mass. Spores develop in the summer on an intermediate host (hawthorn, junberry, etc.), falling on the fir branches, germinate and give a long-term mycelium, which causes thickening and curvature of the branches. Usually rust begins to affect the lower branches of all ages fir at different heights and exposures, but most often in the lower and middle mountains on the northern slopes. The damage caused by rust is significant, as the disease weakens the plants, and infected branches wither. The rust (*Melampsorella cerastii* Wint.) found on the fir forms witch-brooms and tumors on the branchwoods [Mosolova S.N., Prikhodko S.L., 2006].

**Discussion.** In addition, rust-weakened trees are subject to colonization by stem pest species, such as bark beetles, barbels, and goldfinches. Rust control measures are not carried out in fir forests, due to the high cost of work.

Another most dangerous disease of Semyonov fir can be called root rot, caused by the pine fungus *Fomitopsis annosa* (Fr.) Karst. The pine fungus is able to spread through the roots to nearby growing trees, causing a lesion focus. Infection of trees occurs with spores or mycelium, in places where the roots or lenticells of healthy roots are injured. Then the mycelium penetrates the trunk, thereby causing central rot. The bioecology of this disease was thoroughly studied by A.M. Soloviev [Soloviev A.M., 1964]. The author found that the main and permanent reservation of fungus spores is the forest litter, where more than 60% of spores are retained. Infestation of trees most often occurs by spores penetrating into the cracks of the bark and on the surface roots, or by mycelium of the forest litter. Pine fungus affects plants older than 2-3 years of age. The infestation increases with the trees age. The thickest trees are affected more strongly and reach 35-45%, all affected trees have destructive wood or die on the root. Infection of Semyonov fir with pine fungus at the age of 60-100 years reaches from 25 to 40%, and at the age of 100-120 years up to 50% of stands [Soloviev A.M., 1964]. As control measures, the following measures are recommended: cleaning, cutting, pruning and burning of dead-wood, chat wood, affected trees or individual branchwoods of needles. Decontaminate fresh wounds or other injuries with creosote oil, 5% solution of copper sulfate, 3% solution of sodium fluoride, or during the growing season 3-4 times with 1% solution of Bordeaux liquid.

Another most common disease – is alternaria blight, caused by an imperfecti fungi of *Alternaria* species, in terms of its biology, ecology and the nature of the damage caused by this fungi, is close to the representatives of *Fusarium* species, often codominant them. The *Alternaria alternata* (Fr.) Keissler species has been recorded on the Semyonov fir. It mainly affects young needles on 1-3 year-old sprouts, on trees of different ages [Sagitov A.O., et al., 2008]. The initial stage of the disease is needles yellowing, then the tip of the sprouts dies, and a black plaque forms on the dead needles, which is a septic (multi-layered, compacted) thick-walled fungi mycelium. Disease signs on the seedlings are noticeable in the spring, in autumn they turn yellow, and die by the spring of the next year.

In addition, on the seed skin of the Semyonov fir, pathogens of hazardous fungal diseases (*Trichothecium roseum* and *Myxotrichum chartarum*) were found, which destroy from 20 to 40% of the seeds within 7 days with sufficient humidity. [Kalykova G.N., 2009].

**Conclusion.** In general, the existence of entomological and phytopathological pests in the forest is also a part of the entire forest biodiversity created by nature itself. The sanitary condition of fir forests can be assumed relatively positive. However, hazardous organisms exist there. In the process of vital activity of these hazardous organisms, healthy trees dry out, plantings lose their role and ability to natural renewal.

In order to prevent the focus of the disease and localization, it is necessary to carry out the following measures:

Organize continuous monitoring of fir forests. Conduct comprehensive research activities aimed at preventing the disease, selection of the persistent forms and propagation;

Prohibit temporary and permanent cattle camp and grazing of livestock in the forest, especially in the floodplain part of it;

Clean the forest and cutting areas from felling residues, windthrows and windbreaks and dry-topped dead fir trees. Trim and remove the lower wilted or shriveled branches of the affected mature tree. Clean up the affected young stands (up to 20 cm in diameter at stump height) and the dead fir undergrowth, collect it in a specially designated place and eliminate it by burning;

Strengthen the fir stands protection, conduct regular monitoring, consider quarantine declaring in the focus of diseases.

#### **Information about the authors:**

**Kalykova Gulbarchyn Nasirdinbekovna** – P.A. Gan Research and Production Center for Forest Research Institute of Biology of the National Academy of Sciences of the Kyrgyz Republic, Kyrgyz Republic, Bishkek, 5 Karagachevaia Roshcha St, E-mail: kalykovaes@mail.ru <https://orcid.org/0000-0003-4106-1654>;

**Kupsuralieva Indnra Kudaibergenovna** – candidate of biological sciences, P.A. Gan Research and Production Center for Forest Research Institute of Biology of the National Academy of Sciences of the Kyrgyz Republic, Kyrgyz Republic, Bishkek, 5 Karagachevaia Roshcha St, E-mail: i.kupsuralieva@mail.ru <https://orcid.org/0000-0002-6686-9476>;

**Sagitov A. O.** – Academician of NAS RK, LLP «Kazakh Research Institute for Plant Protection and

Quarantine named after Zh. Zhiembaev», Almaty, Kazakhstan, Almaty, Kazakhstan, a\_sagitov@mail.ru. <https://orcid.org/0000-0002-5137-979X>.

## REFERENCES

- [1] Zhuravlev I.I. Diagnosis of diseases of tree species by signs accessible to the naked eye [Text] / I.I. Zhuravlev. - L.: Publishing house of the Central Scientific Research Institute of Forestry, 1954. - p.76. (in Eng.).
- [2] Komarova E.P. Determinant of the polypores of Belarus. [Text] / E.P. Komarova - Minsk: Science and Technology, 1964. – p. 343. (in Eng.).
- [3] Soloviev A.M. Pine fungus in the fir forests of Kazakhstan Altai. - Alma-Ata, 1964, p. 132-135. (in Eng.).
- [4] Kirai Z. Methods of Phytopathology. [Text] / Z. Kiray, Z. Klement, F. Shoimoshi, J. Veresh. - Moscow: Kolos, 1974.—p. 344. (in Eng.).
- [5] Sinadsky Yu.V., Course of lectures on forest phytopathology [Text] / Yu.V. Sinadsky - M.: Publishing House of Moscow University, 1977 – p.214. (in Eng.).
- [6] Bikirov Sh.B. Fir forests of Kyrgyzstan. - Frunze: Ilim, 1984.- p.148. (in Eng.).
- [7] Gordienko P.V. Peculiarities of settlement of wood-destroying fungi on a substrate of varying degrees of destruction in the mixed coniferous-broad leaved forest of Sikhote-Alin. [Text] / P.V. Gordienko // Fungi and lichens in the ecosystem // Abstract report of the X scientific symposium of mycologists and lichenologists of the Baltic republics and Belarus. Part 1. - Riga: Leningrad State University, 1985. - P. 44-46. (in Eng.).
- [8] Ashimov K.S., Kachibekova E.N., Nurmanbaev M.Zh. Dendrophilous insects and diseases of mountain forests in the South of Kyrgyzstan. // Bioecology of walnut forests and geodynamics in Southern Kyrgyzstan. Publication II. - Zhalal-Abad, 1998. - p. 107-113. (in Eng.).
- [9] Bilder I.V. Methods of combating fungal diseases of spruce and fir in Kyrgyzstan. // Recommendations on forestry issues in Kyrgyzstan. Bishkek: - Niva, 1999. - p. 82-89. (in Eng.).
- [10] Zhukov A.M. Scientific-methodical manual for the diagnosis of fungal diseases of flax trees and shrubs [Text] / A.M. Zhukov, P.V. Gordienko. - M.: Publishing house of the Ministry of Natural Resources of Russia, 2001. - P. 69. (in Eng.).
- [11] Totubaeva N.E., Bikirov Sh.B., Zhunusov T.O., Kenzhebaev S. Sanitary condition of Semyonov fir in the buffer zone of Sary-Chelek nature reserve. // Silvicultural research in Kyrgyzstan, Bishkek, 2003.- pp. 161-167. (in Eng.).
- [12] Ashimov K.S. Melampsorella cerastii of Semyonov fir. // Study of wildlife of Kyrgyzstan. - Bishkek, 2004. – Publication 5.- p. 196-197. (in Eng.).
- [13] Ashimov K.S. Kalykova G.N. Fungal diseases of Semyonov fir in the Chichkan gorge of Toktogul forestry. // Bulletin of Zhalal-Abad State University. - Zhalal-Abad, 2006. - p. 67-70. (in Eng.).
- [14] Mosolova S.N., Prikhodko S.L. State of mycological studies of the main forest-forming species in Kyrgyzstan. // Rational use and conservation of forest resources. – Publication 21. Bishkek, 2006. - p. 198-203. (in Eng.).
- [15] Toktoraliev B.A., Kosmynin A.V., Bikirov Sh.B., Attokurov A.T. Guide to growing juniper seedlings in nurseries, protecting them from diseases and pests. Osh: Publishing house of OshTU, 2006. - p.31. (in Eng.).
- [16] Sagitov A.O., Kochorov A.S., Kalykova G.N. Alternaria blight of Semenovii fir in Kyrgyzstan. Bulletin of the National Academy of Sciences of the Kyrgyz Republic. - Bishkek: Ilim, 2008, No.3.- p.100-102. (in Eng.).
- [17] Sagitov A.O., Ashimov K.S., Kalykova G.N. Pine fungus of Semenovii fir in the Western Tien Shan. // Actual problems of forest management and staffing of the forestry sector of the economy of Central Asia. - International Scientific and Practical Conference: Almaty. Agrouniversity Publishing House, 2008.- p. 254-257. (in Eng.).
- [18] Kalykova G.N. Diseases of white pine seeds and the fight against them. // Bulletin of Kyrgyz University of Agriculture. No. 4 (15).- Bishkek, 2009. - p. 117-120. (in Eng.).
- [19] Bikirov Sh.B. Scientific basis for conservation and restoration of fir forests in the Western Tien Shan. Bishkek: Polygraphbumresursy, 2011 – p. 396. (in Eng.).

**В.В. Малородов<sup>1\*</sup>, А.К. Османян<sup>1</sup>, Р.З. Абдулхаликов<sup>2</sup>, М.Т. Каргаева<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», Москва, Россия;

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет имени В.М. Кокова», Кабардино-Балкарская Республика, Нальчик, Россия;

<sup>3</sup>ТОО «Учебный научно-производственный центр Байсерке-Агро», село Аркабай, Талгарский район, Алматинская область, Казахстан.

E-mail: malorodov56@gmail.com

### **ВЛИЯНИЕ ПОВЫШЕНИЯ РАВНОМЕРНОСТИ МИКРОКЛИМАТА В ПТИЧНИКАХ НА РЕЗУЛЬТАТИВНОСТЬ ВЫРАЩИВАНИЯ БРОЙЛЕРОВ**

**Аннотация.** В статье представлены результаты опытов направленных на разработку технологических приемов, позволяющих повысить равномерность распределения воздушных потоков в производственных птичниках для выращивания бройлеров на глубокой подстилке в холодный и теплый времена года. В основе работы расчёт индекса равномерности микроклимата, рассчитываемого путём измерения концентрации летучего углекислого газа в разных точках и частях птичника. Равномерность микроклимата позволяет контролировать полноценное распределение птицы на производственной площади. Опыты выполнены на птицефабрике ООО «Челны-Бройлер» (Республика Татарстан). Объект исследования – бройлеры кросса Ross-308, выращиваемые до 39-суточного возраста в производственных корпусах моноблочного закрытого типа. В контрольных группах воздухообмен в залах обеспечивался приточно-вытяжной системой вентиляции, работающей по принципу отрицательного давления. Программа работы вентиляционной системы была настроена по режиму «Цикл-тайм». В опытных группах дополнительно были установлены циркуляционные осевые вентиляторы SF-550-02 в количестве 5 штук производительностью 8,5 тыс. м<sup>3</sup>/ч каждый. Показана эффективность применения циркуляционных вентиляторов для создания однородного микроклимата и повышения индекса равномерности микроклимата, а также для улучшения зоотехнических и экономических показателей производства мяса бройлеров при напольном способе выращивания. Индекс продуктивности бройлеров в холодный период года увеличен за счёт циркуляции воздуха в птичнике в среднем на 6,5%; в тёплый период года – на 1,6%. В холодный период года удалось увеличить индекс равномерности микроклимата на 50,8%, в тёплый период года – на 53,8%. Таким образом, при оценке эффективности работы системы вентиляции следует ориентироваться на индекс равномерности микроклимата.

**Ключевые слова:** бройлеры, микроклимат, равномерность воздухообмена, респираторная система, зоотехнические показатели, индекс равномерности микроклимата, концентрация углекислого газа.

**В.В. Малородов<sup>1\*</sup>, А.К. Османян<sup>1</sup>, Р.З. Абдулхаликов<sup>2</sup>, М.Т. Каргаева<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>ФМБФМ ЖБ «К.А. Тимирязев атындағы Ресей мемлекеттік аграрлық университеті – МАША», Мәскеу, Ресей;

<sup>2</sup>ФМБФМ ЖБ «В.М. Коков атындағы Кабардин-Балқар мемлекеттік аграрлық университеті», Кабардино-Балқар Республикасы, Нальчик, Ресей;

<sup>3</sup>«Байсерке-Агро» оқу-ғылыми-өндірістік орталығы « ЖШС, Аркабай ауылы, Талғар ауданы, Алматы облысы, Қазақстан.

E-mail: malorodov56@gmail.com

### **ТАУЫҚҚОРАЛАРДАҒЫ МИКРОКЛИМАТ БІРКЕЛКІЛІГІНІҢ БРОЙЛЕРДІ ӨСІРУГЕ ТИІМДІ ӘСЕРІ**

**Аннотация.** Мақалада суық және жылы мезгілде терең бөлмеде бройлерлерді өсіру үшін өндірістік үйлерде ауа ағындарының біркелкілігін арттыру үшін технологиялық әдістерді жасауға

бағытталған тәжірибелердің нәтижелері келтірілген. Тауыққора ішіндегі жеңіл көмірқышқыл газының концентрациясын өлшеу арқылы есептелген микроклиматтың біркелкілік индексі есептеуге негізделген. Микроклиматтың біркелкілігі өндіріс аймағында құстың толық таралуын бақылауға мүмкіндік береді. Тәжірибелер “Челны-Бройлер” ЖШҚ (Татарстан Республикасы) құс фабрикасында орындалды. Зерттеу объектісі – моноблокты жабық үлгідегі өндірістік корпустарда 39-тәуліктік жасқа дейін өсірілетін Ross-308 кроссының бройлерлері болды. Бақылау топтарында залдардағы ауа алмасу теріс қысым қағидаты бойынша жұмыс істейтін сору-шығару желдету жүйесімен қамтамасыз етілді. Желдету жүйесінің жұмыс бағдарламасы “цикл-тайм” режимі бойынша орнатылған. Тәжірибелік топтарда әрқайсысының өнімділігі 8,5 мың м<sup>3</sup>/с болатын 5 дана SF-550-02 айналмалы осьтік желдеткіштері қосымша орнатылды. Біртекті микроклиматты құру және микроклиматтың біркелкілік индексі жоғарылату, сонымен қатар, терең өсіру әдісімен бройлер етін өндірудің зоотехникалық және экономикалық көрсеткіштерін жақсарту үшін айналым желдеткіштерін қолдану тиімділігі көрсетілген. Бройлерлер өнімділігінің индексі жылдың суық кезеңінде құс қорасындағы ауа айналымының есебінен орта есеппен 6,5%-ға; жылдың жылы кезеңінде-1,6%-ға ұлғайды. Жылдың суық мезгілінде микроклиматтың біркелкілік индексі 50,8%-ға, жылдың жылы мезгілінде 53,8%-ға ұлғайды. Осылайша, желдету жүйесінің тиімділігін бағалау кезінде микроклиматтың біркелкілік индексіне назар аудару керектігі анықталды.

**Түйін сөздер:** бройлерлер, микроклимат, ауа алмасудың біркелкілігі, тыныс алу жүйесі, зоотехникалық көрсеткіштер, микроклиматтың біркелкілік индексі, көмірқышқыл газының концентрациясы.

V.V. Malorodov<sup>1\*</sup>, A.K. Osmanyany<sup>1</sup>, R.Z. Abdulkhalikov<sup>2</sup>, M.T. Kargaeyeva<sup>3</sup>

<sup>1</sup>FSBEI HE « K.A. Timiryazev Russian State Agrarian University of », Moscow, Russia;

<sup>2</sup>FSBEI HE « Kokov Kabardino-Balkarian State Agrarian University»,  
Kabardino-Balkar Republic, Nalchik, Russia;

<sup>3</sup>“Baiserke-Agro Educational Research and Production Center” LLP, Arkabay village, Talgar district,  
Almaty region, Kazakhstan.

E-mail: malorodov56@gmail.com

## THE EFFECT OF INCREASING THE UNIFORMITY OF THE MICROCLIMATE IN POULTRY HOUSES ON THE EFFECTIVENESS OF BROILER GROWING

**Abstract.** The article presents the results of experiments aimed at developing technological techniques that allow increasing the uniformity of the distribution of air flows in production poultry houses for growing broilers on deep litter in cold and warm seasons. The work is based on the calculation of the microclimate uniformity index, calculated by measuring the concentration of volatile carbon dioxide at different points and parts of the poultry house. The uniformity of the microclimate allows us to control the full distribution of poultry on the production area. The experiments were performed at the poultry farm of LLC “Chelny-Broiler” (Republic of Tatarstan). The object of research is Ross-308 cross broilers grown up to the age of 39 days in production buildings of a monoblock closed type. In the control groups, air exchange in the halls was provided by a supply and exhaust ventilation system operating on the principle of negative pressure. The ventilation system operation program was configured according to the “Cycle-time” mode. In the experimental groups, SF-550-02 circulating axial fans were additionally installed in the amount of 5 pieces with a capacity of 8.5 thousand m<sup>3</sup>/h each. The effectiveness of the use of circulation fans to create a homogeneous microclimate and increase the index of uniformity of the microclimate, as well as to improve the zootechnical and economic indicators of broiler meat production in the outdoor growing method is shown. The broiler productivity index in the cold period of the year was increased by an average of 6.5% due to air circulation in the poultry house; in the warm period of the year – by 1.6%. In the cold period of the year, it was possible to increase the index of uniformity of microclimate by 50.8%, in the warm period of the year – by 53.8%. Thus, when evaluating the efficiency of the ventilation system, it is necessary to focus on the index of uniformity of the microclimate.

**Key words:** broilers, microclimate, uniformity of air exchange, respiratory system, zootechnical indicators, microclimate uniformity index, carbon dioxide concentration.

**Введение.** Исследований по изучению равномерности микроклимата в промышленном птицеводстве выполнено немного. Однако, по некоторым данным, установлено отрицательное

воздействие неравномерной подачи приточного воздуха на эффективность выращивания птицы. Так, удалось установить образование аэрозольных зон, то есть с ограниченным воздухообменом, замедленной скоростью движения воздуха на уровне птицы относительно нормативных значений [1-7]. Неравномерный микроклимат на производственной площади промышленных птичников приводит к скапливанию птицы в зонах комфорта, что в свою очередь увеличивает иерархичность среди поголовья в доступе к системам кормления и поения [8-11]. Напротив, достаточная равномерность воздушных потоков в помещении позволяет птице равномерно распределяться по полезной площади, исключая вынужденное перемещение птицы во взрослом возрасте [12-13]. Дополнительно следует иметь ввиду отсутствие общепринятой методики оценивания и расчёта равномерности микроклимата, что объясняет актуальность выполненных исследований.

Цель опытов – разработка технологических приемов повышения эффективности работы системы вентиляции в производственных помещениях для выращивания бройлеров на основе индекса равномерности микроклимата.

**Материалы и методы исследований.** Опыты проводили на промышленной птицефабрике ООО «Челны-Бройлер» (Республика Татарстан) в условиях континентального климата в январе (опыт 1) и июле (опыт 2) в производственных корпусах для выращивания бройлеров кроссов «Росс-308» (до 39-суточного возраста) и «Кобб-500» (до 38-суточного возраста) соответственно в холодный и теплый времена года. Для опытов сформировали по 5 групп суточных цыплят и разместили их в моноблочном птичнике, в 5 залах размером 12х96х4 м каждый с напольным способом содержания. Поголовье в каждой группе составляло в среднем 22 тыс. гол., из которых методом случайной выборки отбирали по 105 бройлеров для индивидуального учета их живой массы. Схема опытов представлена в таблице 1.

Таблица 1 - Схема опытов 1 и 2

Показатель	Группа				
	1 (к)	2 (к)	3 (к)	4	5
Возраст родительского стада в опыте 1, нед.	28	38	47	28	38
Возраст родительского стада в опыте 2, нед.	35	42	51	35	42
Плотность посадки, гол./м <sup>2</sup>	19,6	19,7	19,8	19,6	19,9
Производительность циркуляционного вентилятора, тыс. м <sup>3</sup> /ч	–	–	–	8,5	8,5
Объем максимальной суммарной циркуляции воздуха, тыс. м <sup>3</sup> /ч	–	–	–	42,5	42,5
Направление движения воздуха от газогенераторов вдоль наружной стены	–	–	–	К вытяжной вентиляции	От вытяжной вентиляции

Примечание: (к) – контрольная группа.

В контрольных группах воздухообмен в залах обеспечивался приточно-вытяжной системой вентиляции, работающей по принципу отрицательного давления. Программа работы вентиляционной системы была настроена по режиму «Цикл-тайм». Приток воздуха из внешней среды обеспечивался приточными шахтами (12 шт.), установленными в крыше через каждые 6-7 м друг от друга в шахматном порядке. Регулирование степени открытия заслонок приточных шахт осуществлялось в соответствии с уровнем работы максимальной вентиляции. Фактическая производительность вытяжной вентиляции (10 торцевых вентиляторов разной производительности) составляла 290 тыс. м<sup>3</sup>/ч с учетом разрежения воздуха в помещении (25-30 Па) и направления розы ветров в сторону вытяжных вентиляторов. Обогрев осуществлялся шестью газогенераторами GP-70, установленными по 3 с каждой стороны корпуса на высоте 1,8 м от пола до центра выходного отверстия газогенератора, на расстоянии 1,5 м от стены и направленными вдоль наружной к окружающей среде стены к вытяжной вентиляции. Газогенераторы вдоль стен от передней к тыльной торцевой (слева) и в обратном направлении (справа) располагались на расстоянии 6; 36; 72 м с одной стороны и 6; 42; 72 м с противоположной стороны соответственно. Факелы горения были повернуты к центру зала с обеспечением направления воздушного потока по часовой стрелке.

В опытных группах воздухообмен в залах был аналогичен, однако для повышения равномерности микроклимата были установлены циркуляционные осевые вентиляторы SF-550-02 в количестве 5 штук производительностью 8,5 тыс. м<sup>3</sup>/ч каждый (суммарная циркуляция воздуха в зале выращивания бройлеров за 1 час работы – 42,5 тыс. м<sup>3</sup>/ч). Все вентиляторы были установлены на одной высоте с газогенераторами под наклоном 5 градусов вниз по направлению к птице на расстоянии 10,8 м от выходного отверстия газогенератора во всех случаях, за исключением, двух вентиляторов установленных в центральной части зала на расстоянии 16,8 м от газогенераторов. Циркуляционные

вентиляторы были электрически запитаны с газогенераторами (один к одному) и срабатывали каждый в отдельности тогда, когда происходило включение конкретного газогенератора. Запуск циркуляционных вентиляторов осуществляли с 10-суточного возраста бройлеров в холодный период года; с 3-суточного возраста – в тёплый период года.

**Результаты исследований и их обсуждение.** Для оценки равномерности микроклимата в производственных помещениях ранее разработан и применен индекс равномерности микроклимата (ИРМ), который устанавливается на основании измерения маркерного показателя — концентрации диоксида углерода ( $\text{CO}_2$ ) в воздухе в разных зонах птичника (в центральной, левой и правой зонах центральной, передней и тыльной частей). ИРМ рассчитывается по формуле:

$$\text{ИРМ} = \frac{\bar{X}}{\sum \Delta \bar{X}}$$

где  $\bar{X}$  – среднее арифметическое значение измерений содержания  $\text{CO}_2$ ;

$\sum \Delta \bar{X}$  – сумма положительных и отрицательных отклонений от среднего арифметического значения.

Информация о равномерности микроклимата в птичниках в опытах 1 и 2 для холодного и теплого времени года приведена в таблицах 2 и 3 в возрастной динамике птицы.

Индекс равномерности микроклимата характеризует равномерность распределения воздушных потоков и оптимизацию микроклимата в птичнике. С увеличением значения индекса повышается равномерность микроклимата и снижается микроклиматическая зональность. Наивысшие значения индексов получены в опытных группах с циркуляцией воздуха, что доказывает повышение равномерности микроклимата вследствие применяемой технологии оптимизации микроклимата в птицеводческих помещениях (табл. 2). В среднем ИРМ выше в опытных группах по отношению к контрольным в возрастном периоде 1-7 суток на 18,2%; в возрастном периоде 7-14 суток на 16,7%; в возрастном периоде 14-21 суток на 26,0%; в возрастном периоде 21-28 суток на 46,0%; в возрастном периоде 28-35 суток на 53,0%; в возрастном периоде 35-39 суток на 50,8%. В группе 4 с направлением газогенераторов к вытяжной вентиляции индекс равномерности микроклимата ниже во всех возрастах в сравнении с группой 5, что обуславливает наибольшую эффективность применения циркуляции воздуха с направлением газогенераторов от вытяжной вентиляции вдоль наружной стены помещения.

Таблица 2 - Индекс равномерности микроклимата по концентрации  $\text{CO}_2$ , единиц (в опыте 1)

Возраст, сутки	Группа				
	1 (к)	2 (к)	3 (к)	4	5
1-7	4,5	5,5	6,1	6,2	6,9
7-14	5,4	6,6	4,6	5,4	7,8
14-21	5,9	7,8	3,5	6,7	8,6
21-28	3,1	5,8	3,0	5,8	9,0
28-35	3,0	3,0	3,3	4,5	8,7
35-39	3,6	1,8	4,0	5,3	7,2

В опыте 2 наивысшие значения индексов получены в опытных группах с циркуляцией воздуха, что доказывает эффективность применения циркуляционных вентиляторов для повышения равномерности воздухообмена и микроклимата (табл. 3). В среднем ИРМ выше в опытных группах по отношению к контрольным в возрастном периоде 1-7 суток на 3,8%; в возрастном периоде 7-14 суток на 27,5%; в возрастном периоде 14-21 суток на 23,5%; в возрастном периоде 21-28 суток на 25,7%; в возрастном периоде 28-35 суток на 34,6%; в возрастном периоде 35-39 суток на 53,8%. Наибольший индекс равномерности микроклимата составил 9,1 ед., что практически в 3 раза превышает аналогичный показатель в пределах возраста, то есть в птичнике с циркуляцией воздуха микроклимат равномернее в 3 раза в сравнении с птичником без циркуляционных вентиляторов.

Таблица 3 - Индекс равномерности микроклимата по концентрации  $\text{CO}_2$ , единиц (в опыте 2)

Возраст бройлеров, сутки	Группа				
	1 (к)	2 (к)	3 (к)	4	5
0-7	6,0	3,8	5,5	4,8	5,7
7-14	3,5	2,9	4,7	5,0	5,3

14-21	1,8	2,5	3,4	3,2	3,6
21-28	2,5	2,3	3,9	4,4	3,3
28-35	3,2	3,1	4,0	5,7	4,6
35-38	2,8	2,6	3,9	4,3	9,1

Основные сведения об эффективности выращивания бройлеров в опытах 1 и 2 приведены в таблицах 4 и 5.

Таблица 4 - Результаты выращивания бройлеров (опыт 1)

Показатель	Группа				
	1 (к)	2 (к)	3 (к)	4	5
Средняя предубойная живая масса, г	2544,2± 24,7 а	2530,7± 19,1 а	2626,8± 27,5 в	2742,0± 29,8 б	2717,1± 29,1 б
Среднесуточный прирост, г	64,2	63,7	66,1	69,2	68,5
Изменчивость, %	9,9	7,7	10,7	11,1	11,0
Однородность, %	66,7	82,9	64,8	65,7	66,2
Сохранность, %	94,0	95,3	94,8	94,3	95,3
Расход корма на 1 кг прироста, кг	1,59	1,59	1,60	1,58	1,59
ИПБ, ед.	386	389	399	420	417
Убойный выход, %	74,7	74,7	74,7	74,6	74,6
Уровень рентабельности, %	10,6	11,7	11,2	12,4	12,8

Примечание: здесь и в табл. 5 разность между средними значениями в группах (в пределах показателя), обозначенными разными буквами, достоверна при  $P \geq 0,95$ .

В холодный период года (опыт 1) средняя живая масса цыплят в опытных группах 4 и 5 достоверно превышала предубойную живую массу бройлеров контрольных групп, среди которых достоверно выше была живая масса цыплят группы 3, отведенных от кур родительского стада старшего возраста (47 нед.). Та же закономерность наблюдалась и в отношении среднесуточного прироста цыплят. По изменчивости живой массы и однородности поголовья существенных отличий между группами не отмечено, за исключением группы 2, где изменчивость была наименьшей и однородность ( $\pm 10\%$  от средней живой массы) – наибольшей.

Таблица 5 - Результаты выращивания бройлеров (опыт 2)

Показатель	Группа				
	1 (к)	2 (к)	3 (к)	4	5
Средняя предубойная живая масса, г	2419,3± 13,4 а	2431,1± 14,6 а	2449,1± 15,2 аб	2415,3± 13,9 а	2473,9± 13,8 б
Среднесуточный прирост, г	62,6	62,8	63,3	62,4	63,9
Изменчивость, %	5,7	6,1	6,3	5,9	5,7
Однородность, %	87,6	88,6	88,6	85,7	90,5
Сохранность, %	94,0	93,8	94,0	94,4	95,6
Расход корма на 1 кг прироста, кг	1,59	1,60	1,59	1,59	1,60
ИПБ, ед.	376	375	381	377	389
Убойный выход, %	74,8	74,8	74,2	74,2	74,2
Уровень рентабельности, %	11,3	11,0	11,1	12,4	12,6

Показатели сохранности, расхода корма и убойного выхода цыплят всех групп имели близкие значения. Итоговый комплексный показатель зоотехнической эффективности выращивания цыплят — индекс продуктивности бройлеров (ИПБ) в группах 4 и 5 оказался на 18 – 34 ед. выше, чем в группах 1, 2 и 3. Итоговый показатель экономической эффективности – уровень рентабельности в опытных группах был на 0,7 – 2,2% выше, чем в контрольных.

В теплый период года (опыт 2) цыплята опытной группы 5 достоверно превосходили бройлеров в контрольных группах 1 и 2 по средней живой массе. Птицы этой группы имели преимущество над другими группами по среднесуточному приросту, изменчивости, однородности, сохранности и индексу продуктивности (на 8 – 14 ед.). По уровню рентабельности наибольшей экономической эффективностью характеризовались группы 4 и 5: она на 1,1 – 1,6% превышала соответствующие показатели других групп.

Полученные данные согласуются с результатами исследований российских и казахстанских ученых [15-18].

**Заключение.** С целью повышения равномерности микроклимата вследствие циркуляции воздуха и

эффективности производства мяса бройлеров целесообразно в птичниках с напольным содержанием размером 12х96х4 м устанавливать 5 циркуляционных вентиляторов с суммарной производительностью 42,5 тыс. м<sup>3</sup>/ч на расстоянии 10 м от выходных отверстий газогенераторов открытого горения (1 вентилятор на площади 230,4 м<sup>2</sup>). Включать вентиляторы следует с 3-суточного возраста цыплят в теплый период года и с 10-суточного — в холодный период. При оценке эффективности работы системы вентиляции следует ориентироваться на индекс равномерности микроклимата, рассчитываемый по концентрации углекислого газа в разных точках птичника.

#### Information about the authors:

**Malorodov Viktor Viktorovich** – PhD of Agricultural Sciences, assistant professor of the Department of special animal husbandry « Timiryazev Russian State Agrarian University», 127550 Moscow, Russian Federation, Timiryazevskaya str., house 49, contact phone numbers: 8-906-838-00-57, e-mail: malorodov56@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9033-7552>;

**Osmanyar Artem Karlovich** – Doctor of Agricultural Sciences, professor, professor of the Department of special animal husbandry « Timiryazev Russian State Agrarian University », 127550 г. Moscow, Russian Federation, Timiryazevskaya str., house 49, contact phone numbers: 8-499-976-14-56, e-mail: ptitsa@rgau-msha.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0677-4264>;

**Abdulkhalikov Rustam Zaurbievich** – PhD of Agricultural Sciences, assistant professor of the Department of technologies of production and processing of agricultural products « Kokov Kabardino-Balkar State University », 360030, Kabardino-Balkar Republic, Nalchik, Russian Federation, avenue Lenin, 1b, contact phone numbers: 8 (8662) 47-41-77, e-mail: rustam742008@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2807-7611>;

**Kargaeva Makpal Temirkhanovna** – Master of engineering and technology, research associate “Baiserke-Agro Educational Research and Production Center” LLP, Arkabay village, Talgar district, Almaty region, Republic of Kazakhstan, E-mail: Makpal.11@list.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7955-6340>.

#### REFERENCES

- [1] Mar’enko N. (2008). Optimal microclimate in the poultry house [Optimal’nyj mikroklimat v ptichnike]. Animal husbandry of Russia [ZHivotnovodstvo Rossii]. 10: 19-20 (in Rus).
- [2] Buyarov V.S., Buyarova E.A., Borodin V.A. (2003). Technological and economic aspects of broiler meat production [Tekhnologicheskie i ekonomicheskie aspekty proizvodstva myasa brojlerov]. Zootechnia [Zootekhniya]. 9: 24-27 (in Rus).
- [3] Fisinin V.I., Kavtarashvili A.Sh. (2015). Heat stress in a bird. Message I. Danger, physiological changes in the body, signs and manifestations [Teplovoj stress u pticy. Soobshchenie I. Opasnost’, fiziologicheskie izmeneniya v organizme, priznaki i proyavleniya]. Agricultural Biology [Sel’skohozyajstvennaya biologiya]. 50(2). 162–171 (doi: 10.15389/agrobiology.2015.2.162rus), (in Rus).
- [4] Saleeva I.P., Koroleva N.A., Oficerov A.V., Ivanov A.V., Baharev A.P. (2016). Microclimate, ventilation and gas composition of the air in poultry houses (overview) [Mikroklimat, ventilyaciya i gazovyy sostav vozduha v pticevodcheskih pomeshcheniyah (obzor)]. Poultry farming [Pticevodstvo]. 6. 44–49 (in Rus).
- [5] Fisinin V.I., Stollyar T.A., Buyarov V.S. (2007). Innovative projects and technologies in meat and poultry farming [Innovacionnye proekty i tekhnologii v myasnom pticevodstve]. Bulletin of the Orel state agrarian university [Vestnik Orlovskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta]. 1. 6-12. (in Rus).
- [6] Al-Mashhadani E.H., Beck M.M. (1985). Effect of atmospheric ammonia on the surface ultrastructure of the lung and trachea of broiler chicks. Poultry Science. 64(11). 2056-2061 (doi: 10.3382/ps.0642056).
- [7] Kolesnikov R.O. (2017). Development of an innovative device for the formation of biological safety of veterinary surveillance facilities [Razrabotka innovacionnogo ustrojstva dlya formirovaniya biologicheskoy bezopasnosti ob’ektov veterinarnogo nadzora]. In the collection: Innovative technologies in agriculture, veterinary medicine and the food industry [V sbornike: Innovacionnye tekhnologii v sel’skom hozyajstve, veterinarii i pishchevoj promyshlennosti]. 260-269. (in Rus).
- [8] Bianchi B., Giametta F., Fianza G., Gentile A., Catalano P. (2015). Microclimate measuring and fluid dynamic simulation in an industrial broiler house: testing of an experimental ventilation. Veterinaria Italiana. 51(2). 85-92 (doi: 10.12834/VetIt.689.5112.03).
- [9] Calvet S., Estellés F., Cambra-López M., Torres A.G., Van den Weghe H.F.A. (2011). The influence of broiler activity, growth rate, and litter on carbon dioxide balances for the determination of ventilation flow rates in broiler production. Poultry Science. 90(11). 2449–2458 (doi: 10.3382/ps.2011–01580).

[10] Casey K.D., Gates R.S., Wheeler E.F., Xin H., Liang Y., Pescatore A.J., Ford M.J. (2008). On-farm ventilation fan performance evaluations and implications. *J. of Applied Poultry Research*. 17(2). 283–295 (doi: 10.3382/japr.2006-00055).

[11] Renaudeau D., Collin A., Yahav S., V. de Basilio, Gourdiere J.L., Collier R.J. (2012). Adaptation to hot climate and strategies to alleviate heat stress in livestock production. *Animal*. 6(5). 707-728 (doi: 10.1017/S1751731111002448).

[12] Yahav S., Straschnow A., Luger D., Shinder D., Tanny J., Cohen S. (2004). Ventilation, sensible heat loss, broiler energy, and water balance under harsh environmental conditions. *Poultry Science*. 83(2). 253-258 (doi: 10.1093/ps/83.2.253).

[13] Yahav S., Hurwitz S. (1996). Induction of thermotolerance in male broiler chickens by temperature conditioning at an early age. *Poultry Science*. 75. 402-406 (doi: 10.3382/ps.0750402).

[14] Alekseev I.A., Semenov V.G., Baimukanov D.A., Alekseev V.A., Evdokimov N.V., Yakimov A.V., Obukhova A.V. (2019). Basulifor probiotic supplement, its impact on body and productivity of young quails. *Bulletin of national academy of sciences of the Republic of Kazakhstan*. Volume 4, Number 380. 27 – 37. <https://doi.org/10.32014/2019.2518-1467.89>.

[15] Kuzmina N.N., Petrov O.Yu., Semenov V.G., Baimukanov D.A., Dzhanabekova G.K., Sarimbekova S.N., Nesipbayeva A.K., Zhylyshybayeva M.M. (2019). Comparative assessment of the impact of natural antioxidants on the qualitative indicators of semi-finished products from broiler-chicken meat and oxidative processes in their storage. *Bulletin of national academy of sciences of the Republic of Kazakhstan*. Volume 6, Number 382. 231–240. <https://doi.org/10.32014/2019.2518-1467.166>.

[16] Sherne V.S., Aubakirov Kh.A., Lavrentiev A.Yu., Semenov V.G., Baimukanov D.A. (2020). Use of enzyme preparations in compound feed for ducklings. *Bulletin of national academy of sciences of the Republic of Kazakhstan*. Iss 2, Vol 384. 62–69. <https://doi.org/10.32014/2020.2518-1467.42>

[17] Kuzmina N.N., Petrov O.Yu., Semenov V.G., Baimukanov D.A., Lyubimov A.I., Aubakirov Kh.A. Study of the efficiency of natural antioxidants in storing poultry raw material processing. *Bulletin of national academy of sciences of the Republic of Kazakhstan*. Iss 4, Vol 386. 62–69. <https://doi.org/10.32014/2020.2518-1467.105>.

[18] Kuzmina N.N., Petrov O.Yu., Glotova I.A., Aubakirov Kh.A., Baimukanov D.A. (2021). Impact of dihydroquertetin on meat productivity of the Cobb-500 broiler chicken. *Reports of the national academy of sciences of the Republic of Kazakhstan*. Iss 4, Vol 338. 64 – 70. <https://doi.org/10.32014/2021.2518-1483.60>.

**S.S. Manukyan**

Armenian National Agrarian University, Gyumri, Armenia.

E-mail: manukyanss45@mail.ru

**ANISOTROPY OF CHEESE “LORI” PRODUCED BY DOUBLE-SIDED PRESSING**

**Abstract.** The article examines the influence, proposed for the first time by new methods: double-sided non-cloth without repressing; double-sided step non-cloth without repressing with fewer pneumatic cylinders.

The study was carried out by removing 2.5 cm thick layer from the upper and lower sheets and 1.5 cm of the middle layer at 4 side edges, which will allow you to test in deeper layers of the cheese head and reveal the true picture of anisotropy.

We have studied the moisture content in the central parts of the upper and lower sheets, at the edges along the length and width of experimental and control cheeses.

The study showed that the upper sheet sidewall N1 between the upper 0.3% and lower 0.5% edges the differences in moisture content in the experimental cheese is 0.3%, 0.5%, and respectively in the central part 0.3%, i.e. almost equalized.

In the central part, the moisture content of the experimental cheese is on average 42.9%, 43.2% correspond to the points in the middle layer of the control cheeses 43.4%, 43.4%. The difference is 0.3-0.5%. We can state that multiple repressing with double-sided pressing disappears. Distribution of moisture along the side length of sidewall N1, sidewall N2 increases from the edges to the central part. This also proves that with double-sided pressing, moisture is distributed more evenly in the cheese mass.

The above study confirms that for obtaining reliable data, it is necessary to remove the compacting layer. By the second method we introduce the scheme of mold covers for double-sided pressing of cheeses.

**Key words:** anisotropy, moisture, variation, sheet, sidewall.

**С.С. Манукян**

Армян ұлттық аграрлық университеті, Гюмри, Армения.

E-mail: manukyanss45@mail.ru

**ЕКІ ЖАҚТЫ ТЫҒЫЗДАУ АРҚЫЛЫ АЛЫНҒАН «ЛОРИ» ІРІМШІГІНІҢ  
АНИЗОТРОПИЯСЫ****С.С. Манукян**

Государственный Аграрный Университет Армении, Гюмри, Армения.

E-mail: manukyanss45@mail.ru

**АНИЗОТРОПИЯ СРЕДНЕГО СЛОЯ СЫРА “ЛОРИ”, ВЫРАБОТАННОГО  
ДВУХСТОРОННИМ ПРЕССОВАНИЕМ**

**Аннотация.** В статье рассматривается влияние, предложенные впервые новыми способами: двухстороннее бессалфеточное без перепрессовок, двухстороннее ступенчатое бессалфеточное без перепрессовок с меньшим количеством пневмоцилиндров.

Исследование проводили отрезкой из верхних и нижних полотен толщиной 2,5 см и с 4-х боковых краев 1,5 см среднего слоя, что позволило тестировать в более глубоких слоях головки сыра и выявить истинную картину анизотропии.

Исследовали содержание влаги в центральных частях верхних и нижних полотнах, на краях по длине и в ширине, в углах опытного и контрольного сыра.

Исследование показало, что в верхнем полотне боковины N1 между верхними 0,3% и нижними 0,5% краями разница содержания влаги в опытном сыре составляет 0,3%, 0,5%, и соответственно в центральной части 0,3%, т. е. почти уравнивается.

В центральной части содержание влаги опытного сыра составляет в среднем 42,9%, 43,2% и соответствуют точкам среднего слоя контрольных сыров 43,4%, 43,4%. Разница составляет 0,3-0,5%. Можно заключить, что многократная перепрессовка при двухстороннем прессовании отпадает. Распределение влаги по длине боковины N1, боковины N2 от краев до центральной части увеличивается. Это тоже доказывает, что при двухстороннем прессовании влага распределяется более равномерно в сырной массе.

Вышеуказанное исследование подтверждает, что для получения достоверных данных необходимо удалить уплотняющий слой.

По второму способу представляем схему крышек прессформы для двухстороннего прессования сыров.

**Ключевые слова:** анизотропия, влажность, колебание, полотно, боковина.

**Introduction.** In cheese making, among the technological processes the molding and cheese pressing play an important role. The grains in the finished cheese mass are usually of different sizes, and they need to be combined into large monolithic pieces. Monoliths are given various shapes: spherical, cylindrical, rectangular, square, etc. Cheeses are also molded to separate the whey remaining between the grains. Besides, the shape of the cheese in some way affects the process of ripening and drying during storage. Thus, ripening of soft cheeses goes from the surface to the inside, so they are mainly produced in small sizes (2-3 kg), but with a large specific surface. Hard cheeses ripen from the centre to the periphery, their size is larger, and the specific surface in relation to the cheese mass is smaller. With a change in shape, the surface area also changes. With the same mass, the smallest surface will have a round cheese, then cylindrical, square and rectangular. [1, 2, 3, 12]

With a change in the shape and surface area, the moisture distribution of the cheese mass (anisotropy), the development and distribution of microorganisms that occur during ripening also change, which ultimately affects the quality of the product.

Sources of flavoring and aromatic substances of cheese are all macronutrients: fats, proteins, carbohydrates. The hydrolysis of these macronutrients is carried out by microorganisms, i.e., it is impossible to develop cheese without microorganisms. [1, 2, 3, 4, 12]

Thus, it is essential to create conditions (moisture, temperature and pH) to produce cheeses of the required quality. It is more important to distribute moisture in the cheese mass, which depends on the cloth wrapping, repressing, non-cloth and without repressing, the optimal modes (pressure and duration) and pressing method, as well as the incompatibility of technological processes (assembly and disassembly of moulds, filling of cheese grains, molding, pressing and extracting cheese from the mould) that lead to an increase of anisotropy of the cheese mass. In this sphere, a technological analysis of the review literature was carried out to determine the influence of each of these technological processes, anisotropy change (uneven distribution of moisture) in the cheese mass. **Technological analysis** has shown how three methods - cloth repressing, one-sided cloth pressing with repressing and one-sided non-cloth pressing without repressing the cheese mass - are still used in cheese making abroad and in the CIS. When self-pressing, there is pressure from the upper layers of the cheese mass on the lower ones. In the method of the second and third one-sided pressing in the direction of the side to be pressed from top to bottom, the pressure, of course, decreases. What happens in the third method? In the method, the following occurs: the initial acting pressure force of 0.1 kg/cm<sup>2</sup> is very weak and does not reach the lower layers of the cheese mass. In this case, the upper layers are compacted. At the same time, the lower layers of the cheese mass are compacted due to the pressure of the upper layers on the lower ones (self-pressing). A gradual increase in pressure up to 0.5 kg/cm<sup>2</sup> reaches the lower layers, but not completely, and it is greater than the effective pressure of the upper layers on the lower ones (self-pressing). As a result, the upper layers are compacted more than the lower ones. This method is effective for low-height cheeses. In both methods, repressing of the cheese mass is required for the equation of moisture distribution and density of the upper and lower layers of the cheese mass. If the pressure in the technological mode is higher than the norm over the cheese mass, then the drainage of the napkin is more pressed out that leads to rapid drying and closure due to the capillary openings and, ultimately, to settling of the whey in the capillaries. Besides, large

pressings can be cut off when extracting pressed cheese from the mold. Unwanted microorganisms can enter these places, which further deteriorate the quality of the cheese. If the pressure is less, then the cheese is not fully pressed, i.e. again leads to the settling of whey in the capillaries. These operations increase the cost price of cheese, reduce the labor productivity, hinder the implementation of production flow, hamper the complex mechanization and automation of cheese production. [4]

**Anisotropy formation theory.** When cheese grains are displaced under the pressure of the pressing force, capillaries are formed in the inter-granular space, through which a leakage of the whey occurs in different directions to the surface of the cheese mass. Thus, the repressing and the napkin lead to the coincidence of the holes of mesh tape with the pressing, as a result of which the size of the pressing increases and the holes get quickly dried and closed, leading to the settling of whey in the capillaries. The whey can exit through other capillaries if the pressure is higher than in adjacent capillaries, but this extends the duration of pressing. And if the whey remains in the capillaries, then the moisture will be higher than in those capillaries, the holes of which did not close. As a result of this, the anisotropy increases, which is so unwanted in anisotropy. Besides, during one-sided pressing, the pressure from the pressing side towards the lower layers decreases, as a result of which, the density in the upper and lower clothes is different, for which they recourse to repressing. [5]

The above factors adversely affect the intensity of flow of the biochemical and microbiological processes. In this regard, the most important issue of cheese making is the development and widespread industrial introduction of new advanced technologies and technical means, such as the non-cloth pressing of cheeses.

Thus, the above mentioned technological processes increase the anisotropy of the cheese mass, reducing the quality of cheese.

**Technical analysis.** In the last decade, many natural cheese production processes have been mechanized and automated. A few semi-industrial and industrial methods for the continuous production of cheese mass, its molding and pressing, various designs of apparatus of periodic and continuous actions are used. To obtain high-quality cheese mass, molding and dosing devices, presses (lever, screw and pneumatic, horizontal, tunnel) were used. Until now, methods, designs of forms and devices have been used in cheese making mainly for the implementation of one-sided pressing of cheeses. Among them, a special place is occupied by tunnel presses, in which two types of devices are used as power elements developing the pressing force: [5, 6, 7, 8, 9]

1. Pneumatic cylinders: a separate pneumatic cylinder presses on each cheese bar. Thus, the difference in height of each of the cheese bars does not matter much, the presses with pneumatic cylinders have a large working space height, which facilitates the loading. Moreover, their design provides parallelism of the upper and lower planes at any load and any molding method. This positive feature makes such presses attractive to many cheese producers. Such a pressing design is quite high-priced and material-intensive, but it is considered the best and is used in cheese production with a large mass.

2. Flexible inflatable power elements: the disadvantage of such elements lies in the small size of the working stroke (with large differences in the height of the cheese heads, the quality of the pressing may deteriorate), the advantage is in high specific pressure provided by the specificity of press designs with the use of flexible power elements. Thus, the main way to create the pressing pressure is to use the energy of compressed air and most often a separate pneumatic cylinder presses on each cheese bar in them. At the same time, the compaction of the cheese mass in the direction from the pressed side downwards falls anyway, and to obtain the same density of the upper and lower sides, the cheeses are repressed. This is a very time-consuming process, leading to an uneven distribution of moisture and hardness in the cheese mass, therefore, to an uneven distribution and development of microflora and to non-intensive flow of biochemical processes in the cheese mass, in the result of which the quality of cheese decreases. Therefore, the current method of one-sided pressing of cheeses with repressing, without repressing and using napkins leads to cheese anisotropy. [5, 6, 7, 8]

Of the existing tunnel presses, presses of high automation manufactured by “Press Pallet” company are distinguished. Press pallets are combined into blocks that have a common compressed air supply system, as well as a system of lifting and transporting devices for loading and unloading the presses (press-room equipped with Chalon Megard press pallets [8]).

The analysis of the existing pressing systems allows concluding that they are constantly being improved, but the main way to create pressing pressure is to use the energy of compressed air.

Improvements concern the automation of loading and unloading systems, and not the design of forms, molds and installations. [5, 6]

To obtain high-quality cheese, it is necessary to obtain a more homogeneous cheese mass when pressing,

i.e. with a more uniform distribution of moisture and hardness, which provides the new method of pressing proposed by us - double-sided pressing of the cheese mass, which contributes to the compaction of the cheese mass by one temporarily from both sides. In this case, the upper and lower layers of the cheese mass, moving towards each other and displacing the whey from the intergranular space, create the same compaction almost throughout the cheese mass [5], which cannot but have a positive effect on the quality of the cheese.

The new method was tested on round (“Dutch”) and cylindrical (“Swiss”) cheeses. Based on the positive results, we tested it on mature rectangular cheeses “Lori”, knowing that the shape of the cheese somehow influences the ripening of the cheese. The study of changes in the anisotropy of the middle layers on mature cheeses continues, so we set the task of obtaining high quality cheese, with a decrease in anisotropy, reduction in the duration of pressing and with the exception of repressing: [1, 2, 3, 4, 5]

Thus, we have studied the following:

1. Determine the distribution of moisture in the central parts of upper and lower sheets of sidewalls N1 and N2 of mature “Lori” cheeses after removing the compacting layers.
2. Compare the average hardness data on the central part from the edges in width and in length of the central part of the upper and lower sheets of sidewalls N1 and N2.
3. Study the moisture content at the edges in length in the upper and lower sheets of the middle layer.

**Research methodology of the first method.** Experimental research was carried out by standard and generally accepted methods according to GOST. Determination of the content of nitrogenous substances in cheese “Lori” by the Kjeldahl method GOST 23327 in 1978 at Ashotsk cheese factory of Ghukasyan region of the Republic of Armenia. We determined the moisture content in the cheese by express method (GOST 3625-75g.), and the hardness of the cheese – by a specially designed and manufactured device.

**Research results.** In order to identify the effect of double-sided pressing on the quality of cheeses, we also compared the moisture content between the upper and lower edges of the upper and lower sheets of the middle layer of the same (1 cheese head of each) mature experimental and control cheeses (without the upper, lower and side compacting layers).

1. The moisture content in the cheese mass of the upper and lower sheets of the middle layer of mature “Lori” cheeses is given in table 1, which indicates that with double-sided pressing, the moisture content averages 43% and 42.7%, and in the control ones - 42.63% and 42.57% respectively, i.e. almost equalizes after removing the compacting layer formed during self-pressing, which once again confirms the uselessness of re-pressings and napkins during double-sided pressing.

Based on the study results, it was found that the difference in distribution of moisture at the edges in width of the head of the middle layer of the experimental cheese mass (without compacting layers), the upper sheet of the sidewall N1 of the upper edge on average is 43.2%, of the lower edge - 42.9% ( $43,2 - 42,9 = 0,3\%$ ), the sidewall N2 of the upper edge is 42.7%, 42.3% ( $42,7 - 42,3 = 0,4\%$ ). Accordingly, the sidewall N1 of the upper sheet of the central part is on average 42.9%, of the lower sheet - 43.2%, i.e. in the upper sheet the difference is  $43,2 - 42,3 = 0,9\%$ , the sidewall N2 is  $43,2 - 42,9 = 0,3\%$  respectively. Thus, the difference in moisture between the edges is almost the same (0.3%, 0.4%), which compared to the central part of 0.3% is also insignificant.

In the control cheese, respectively, the upper edge averages 42.4%, the lower edge 41.8%, compared with the central parts of the sidewall N1 - 43.4%, sidewall N2 - 43.4%.

$43,4 - 42,4 = 1,0\%$ ,  $43,4 - 41,8 = 1,6\%$ ,  $1,6 - 1\% = 0,6\%$ .

2. The study showed that the distribution of moisture on the edges of the upper sidewall N1, the lower sidewall N2 in the control cheese compared with the central part (0.6%) at the corresponding points, the difference and variations are insignificant.

We also researched the moisture content in the central part of the middle layer of the experimental cheese head in width of the sidewall N1 (upper sheet) at points 10; 11; 12 and sidewall N2 (lower sheet) 12; 11; 10, which respectively amounted to 42.9%; 43.2%; 42.8% (on average 42.9%) and 42.9%; 43.7%; 43.1% (on average 43.2%), and at the corresponding points of the middle layer of the control cheese was on the sidewall N1 - 43.6%; 43.2%; 43.4% (on average 43.4%) and sidewalls N2 - 43.7%; 43.5%; 43.1% (on average 43.4%). (Table 1)

It can also be seen that the distribution of moisture along the length from the edges of the experimental cheese (left, right) to the central part increases, but slightly above the central part: the sidewall N1 left - 42.9%, central - 43.3%, right - 43.1%, sidewall N2 left - 42.6%, central - 43.0%, right - 42.5%, and for the control cheese, respectively, sidewall N1 left - 42.5%, central - 42.7%, right - 42.5%, sidewall N2 left - 42.6%, central - 43.0%, right - 42.4%. This proves the uselessness of napkin repressing.

**Influence if double-sided pressing on moisture content in the cheese mass of the middle layer of mature cheeses “Lori” after removal of compacting layers.** In order to identify the effect of double-sided pressing on the quality of cheeses, we also compared the moisture content between the upper and lower edges of the upper and lower sheets of the middle layer of the same (1 cheese head of each) mature experimental and control cheeses (without the upper, lower and side compacting layers).

The moisture content in the cheese mass of the upper and lower sheets of the middle layer of mature cheeses “Lori” is given in table 1, which shows that the use of double-sided pressing provided for the moisture content of average 43% and 42.7%, and in control ones - 42.63% and 42.57% respectively, i.e. almost equalizes after removing the compacting layer formed during self-pressing, which once again confirms the uselessness of repressing and napkins during double-sided pressing.

The moisture content of the upper and lower sheets (sidewall N1) on the edges in width of the middle layer of the experimental and control cheeses is given in Table 1.

Table 1. Moisture content in the upper and lower sheets of the middle layer of the experimental and control mature cheeses “Lori” without compacting layers, %

Point N	Experimental cheese		Control cheese	
	upper sheet sidewall 1	lower sheet sidewall 2	upper sheet sidewall 1	lower sheet sidewall 2
1	2	3	4	5
1.	43,5	42,7	42,4	42,1
2.	43,3	43,1	43,7	40,3
3.	42,8	42,4	41,2	41,6
4.	42,8	42,4	42,8	42,6
5.	43,1	42,9	42,9	43,8
6.	43,1	42,8	43,1	42,2
7.	43,0	42,6	42,7	42,8
8.	43,4	43,2	43,1	43,6
9.	42,9	42,4	42,8	42,6
10.	42,9	43,1	43,2	43,1
11.	43,2	43,7	43,6	43,7
12.	42,8	42,9	43,4	43,5
13.	42,8	42,5	43,2	42,7
14.	43,4	43,5	42,5	43,9
15.	42,6	42,7	42,7	42,3
16.	42,7	42,3	42,3	42,4
17.	43,5	42,9	42,1	43,8
18.	42,5	42,5	42,3	42,8
19.	42,9	42,6	42,1	42,3
20.	43,5	41,9	41,3	40,1
21.	42,4	42,3	41,9	41,8
Average	43,0±	42,7±	42,63±	42,57±
Variations	42,4-43,5 difference 1,1 %	41,9-43,7 difference 1,8 %	41,2-43,7 difference 2,5 %	40,1-43,9 difference 3,8 %

We also researched the moisture content in the central part of the middle layer of the experimental cheese head in width of the sidewall N1 (upper sheet) at points 10; 11; 12 and sidewall N2 (lower sheet) 12; 11; 10, which respectively amounted to 42.9%; 43.2%; 42.8% (on average 42.9%) and 42.9%; 43.7%; 43.1% (on average 43.2%), and at the corresponding points of the middle layer of the control cheese was on the sidewall N1 - 43.6%; 43.2%; 43.4% (on average 43.4%) and sidewalls N2 - 43.7%; 43.5%; 43.1% (on average 43.4%) (Table 1). From the above data it can be seen that the distribution of moisture in the central parts of the middle layer of the experimental cheese without compacting layers compared to the central part of the middle layer of the control cheese (without compacting layers) differs little, i.e. the moisture is distributed in the central parts in the same way (the difference is 0.3-0.5%). It can be noted that multiple repressing leads to conditions of double-sided pressing.

Based on the study results, it was found that the difference in distribution of moisture at the edges in width of the head of the middle layer of the experimental cheese mass (without compacting layers), the upper sheet of the sidewall N1 of the upper edge on average is 43.2%, of the lower edge - 42.9% (43, 2 - 42.9 = 0.3%), the sidewall N2 of the upper edge is 42.7%, 42.3% (42.7 - 42.3 = 0.4%). Accordingly, the sidewall N1 of the upper sheet of the central part is on average 42.9%, of the lower sheet - 43.2%, i.e. in the upper sheet the

difference is  $43.2 - 42.3 = 0.9\%$ , the sidewall N2 is  $43.2 - 42.9 = 0.3\%$  respectively. Thus, the difference in moisture between the edges is almost the same (0.3%, 0.4%), which compared to the central part of 0.3% is also insignificant.

In the control cheese, respectively, the upper edge averages 42.4%, the lower edge 41.8%, compared with the central parts of the sidewall N1 - 43.4%, sidewall N2 - 43.4%.

$43,4 - 42,4=1,0\%$ ,  $43,4-41,8=1,6\%$ ,  $1,6 -1\%=0,6\%$ .

The study showed that in the distribution of moisture at the edges of the upper sheet sidewall N1, the lower sheet sidewall N2 in the control cheese is compared with the central part (0.6%) at the corresponding points, the difference and fluctuations are insignificant.

It can also be seen that the distribution of moisture along the length from the edges of the experimental cheese (left, right) to the central part increases, but slightly above the central part: the sidewall N1 left - 42.9%, central - 43.3%, right - 43.1%, sidewall N2 left - 42.6%, central - 43.0%, right - 42.5%, and for the control cheese, respectively, sidewall N1 left - 42.5%, central - 42.7%, right - 42.5%, sidewall N2 left - 42.6%, central - 43.0%, right - 42.4%. This proves the uselessness of napkin repressing.

Our proposed new method of double-sided pressing contributes to a more uniform distribution of moisture in the cheese mass (low anisotropy) in rectangular cheeses, since the layers of the cheese mass are compacted simultaneously on both sides without overpressing and using napkins.

After maturation of studied "Lori" cheeses, they were tasted. The tasting results showed that all the experimental and control cheeses were of the highest grade. Experimental cheeses of all variants were evaluated with a high score - 93 and 92 points, respectively, due to their good taste and smell, while the control cheeses were rated only 90 and 91 points.

**Discussions. For the first time** double-sided non-cloth pressing was proposed without repressings, with a decrease in the anisotropy of cheese "Lori" and a reduction in the pressing duration.

1. For the experiment a screw mold for cheese "Lori" and a dynamometer for measuring the pressing force over the cheese mass were designed and manufactured. Later the screw press was reconstructed to a pneumatic one, providing a more accurate perpendicularity of the pneumatic cylinder rod in relation to the surface layer of the cheese head.

2. The optimal mode of double-sided pressing of cheese "Lori" was set.

3. The optimality of the technological modes of the results of rheological and biochemical analyzes has been substantiated.

4. We have studied the distribution of moisture in the central part of the middle layer of the upper and lower sheets of sidewalls N1, N2 of the experimental and control cheeses (without compacting layers) by cutting of 2.5 cm, 1.5 cm from 4 side edges.

5. We have compared the distribution of moisture in the central part of the experimental and control cheeses of the upper and lower sheets of the sidewall N1, N2 of the middle layer.

6. We have compared the distribution of moisture at the edges in width and in length in the central parts of the upper and lower sheets of the sidewall N1, N2 of the middle layer.

7. For the implementation of double-sided presses we have developed schemes of molds for double-sided pressing of cheese "Lori", which are fully subject to automation, combining the assembly, disassembly of molds, shaping, pressing and extracting of pressed cheese.

### **Conclusion.**

1. Thus, we can conclude that the distribution of hardness in the middle layer of the cheese mass of the experimental cheeses (without re-pressing and napkins, reducing the duration of pressing) is more constant and stable in comparison with the control ones. Therefore, double-sided pressing to some extent reduces the hardness in the cheese mass.

2. It should also be noted that the distribution of moisture and hardness in the cheese mass is irregular, and in order to obtain reliable data when studying the distribution of moisture and hardness in the layers of the cheese head, it is necessary to remove the compacting layers thereto.

3. From the above we can conclude that the reason for the high anisotropy is the more durable compacting layers of the control cheese, which are formed when using napkins and under the influence of re-pressing during self-pressing.

### **Inference.**

1. The study has shown that the distribution of moisture in the upper and lower sheets of the central parts of the middle layer is equalized, i.e. almost the same.

2. Compared with the distribution of moisture at the edges in width with the central parts of the upper and

lower sheets of the sidewall N1, N2 of the middle layer (without the compacting layer) of the experimental and control cheeses, the difference in moisture is insignificant (0,3-0,5%).

3. The reason for the high hardness is the compacting layer formed during self-pressing with re-pressing and the napkins, as well as the duration of self-pressing, is that the lower sheet is pressed 40 minutes more than the upper one according to the technological mode.

4. During double-sided pressing, the shape of the cheeses does not affect their ripening process, but only affects the anisotropy of the cheese mass, i.e. the distribution of moisture and hardness in rectangular cheeses is much more uneven than in round ones. This is due to the fact that when pressing in rectangular cheeses during shifting and displacement of cheese grains under pressure, sidewalls are formed and when they are displaced towards each other, the compaction of the cheese mass increases precisely in the corners and at the edges in width.

5. High hardness and less moisture are noted at the edges and in the corners of the cheese head, formed during shifting and displacement of the sidewalls towards each other under the pressing force.

The proposed method of double-sided pressing eliminates these disadvantages (napkins, re-pressing) as a result of the simultaneous compaction of the upper and lower layers of the cheese mass on both sides. Thinner compaction layers are obtained, which contribute to an intense release of whey and a shorter pressing time. In this case, moisture is retained both in the upper and lower layers, softening the consistency of the cheese mass, as a result of which the eatable parts of the cheese increase.

We also offer two molds for double-sided (stepwise) pressing of large round and rectangular cheeses (the second method) with the possibility of full automation with the combination of the processes of assembling forms, filling grain in a closed form, molding, pressing, disassembling forms, extracting cheese. We study the mechanism for double-sided stepped (step) non-cloth pressing with a smaller amount of pneumatic cylinder.

We herewith introduce a diagram of mold covers for double-sided cheese pressing.

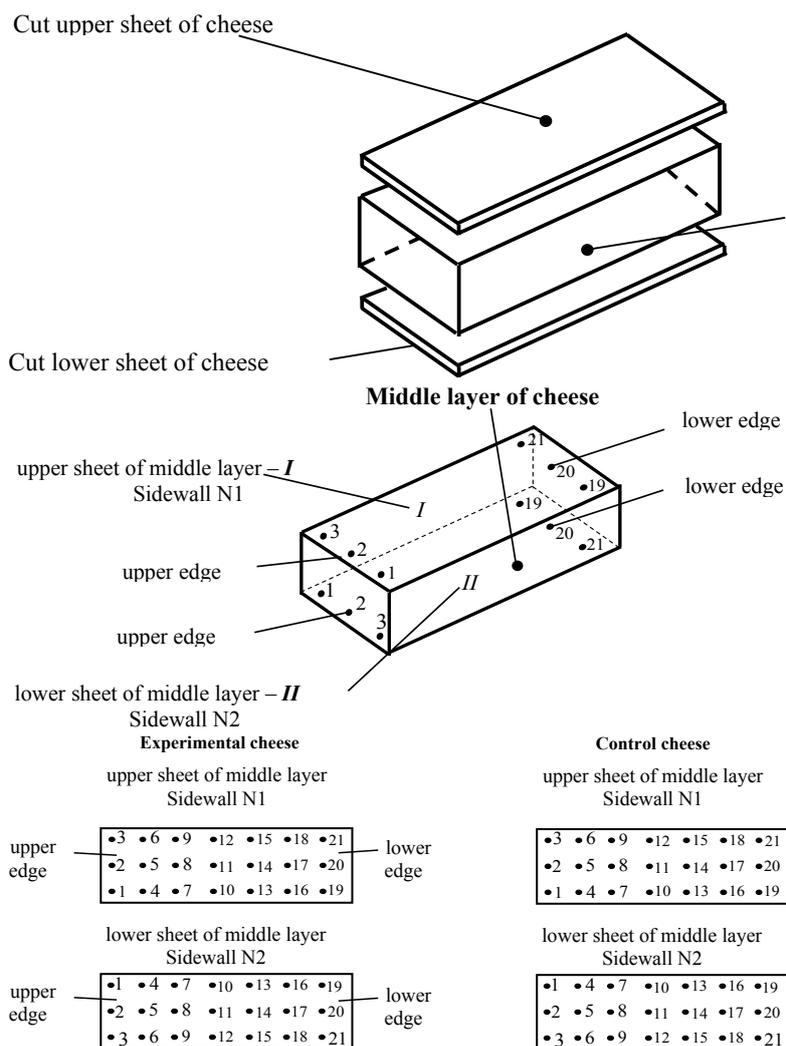
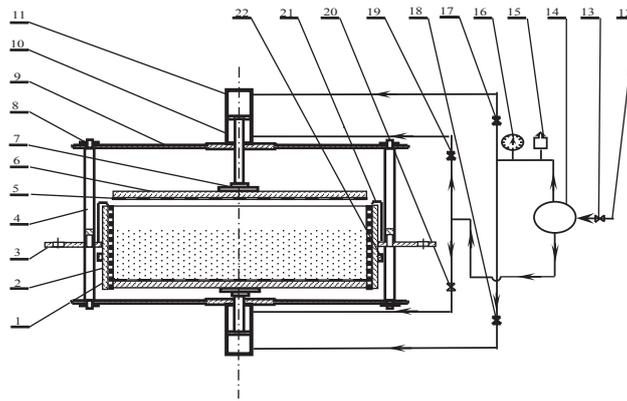
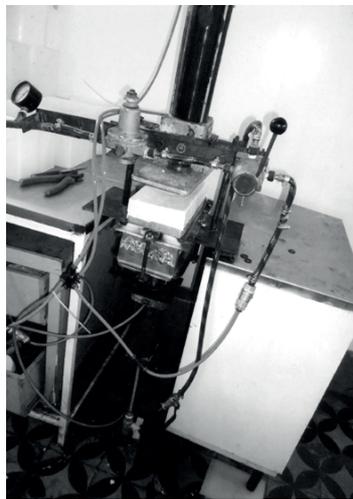


Fig. 1 - Scheme of middle layer of experimental and control cheeses



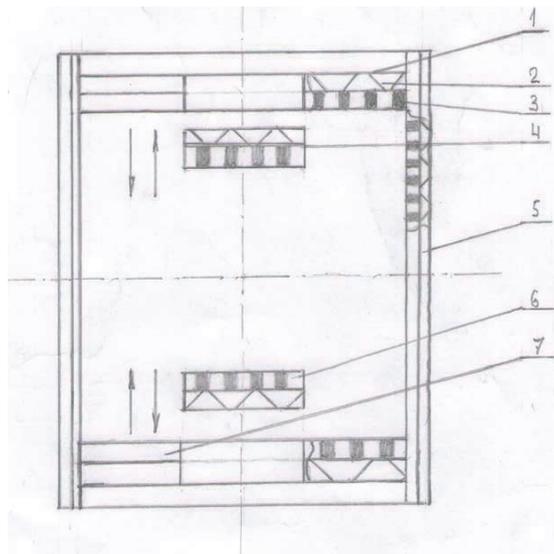
a)

1-body, 2-perforated ferrule, 3-platform, 4-bars, 5-perforated inserts, 6-pressing tiles, 7-upper and lower ball bearings, 8-locking caps, 9-balancing lever, 10-rod, 11-pneumocylinders, 12-main pipe, 13-valves, 14-tap, 15-gear, 16-manometer, 17, 18, 19, 20-valves, 21-lock, 22-rib stiffeners



b)

Fig. 2 (a, b) - Pneumatic mould for double-sided pressing of rectangular small-size cheeses



1-large part of upper cover of mould, 2-corrugated tile, 3-perforated insert, 4-small part of upper cover of mould (automatic valve for pouring the cheese grain into the mould), 5-mould sidewall, 6-small part of lower cover of mould, 7-large part of lower cover of mould.

Fig. 3 - Scheme of mold covers for double-sided cheese pressing.

**Information about author:**

**Samvel Smbatovich Manukyan** – Ph.D. in Technical Sciences, Docent, Associate Professor at Armenian National Agrarian University, Republic of Armenia, <https://orcid.org/0000-0002-2855-4641> UDC 637.333(479.2.5) HTAMP 65.63.39, E-mail: manukyanss45@mail.ru.

**REFERENCES**

- [1] RSD ARMSSR-332-85, Cheese “Lori”. Replaced RSD ARMSSR 932-77; Intr. 01.01.1986-Yer., Gosplan ArmSSR, 1985, - p. 18.
- [2] Dilanyan Z.Kh.: Cheese manufacturing. 3rd edition rev. and suppl. – M.: // Light and Food Industry, 1984, - p. 280.
- [3] Mordvinova V.A., Lepilkina O.V., Ostroukhova I.L., SamoiloV A.V.: The features of the formation of organoleptic indicators of cheese products// Cheese making and butter making.- M., 2012, No. 2.- p. 31-33.
- [4] De Vuyst A., Vervack W., Foulon M.: Detection d’amines non volatiles dans quelques fromages.// Le Lait.- 1976, 557.- p. 414-422.
- [5] Onopriyko A.V., Tabachnikov V.P.: Technique and technology of non-napkin cheese pressing. Overview information, series: butter making and cheese making industry No. 3.- M.: CRIITER (ЦНИИТЭИ), Meat and dairy industry, 1976.- p. 56.
- [6] Mayorov A.A., Mironenko I.M.: Cheese mass pressing // Cheese-making and butter-making.- M., 2013, No. 1.- p. 26-30.
- [7] Mayorov A.A., Mironenko I.M.: Cheese mass pressing // Cheese-making and butter-making.- M., 2013, No. 2.- p. 34-38.
- [8] Tunnel press of “Press-Matic” type with automatic feed, Firm “Tebel”, No. PD 88002.
- [9] Manukyan S.S.: The optimal mode of double-sided pressing of cheese “Lori” // Cheese making and butter-making. - 2013, No. 4.- p. 16-17.
- [10] State standards of the USSR. Milk, dairy products and canned milk.- M.: Publishing house of standards, 1983.- p. 424.
- [11] Patraty A.P., Aristova V.P.: Handbook for laboratory workers of enterprises of the dairy industry: M.: Food industry, 1980.- p. 240.
- [12] Republican standard of the Arm SSR “Cheese “Lori”, 932-85. State Planning Committee of the Armenian SSR, Yerevan, p. 8.
- [13] Manukyan S.S.: Double-sided pressing of cheeses // Imastaser Anania Shirakatsi, Gyumri, 2013.- p. 292.

REPORTS OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES  
OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

ISSN 2224-5227

Volume 1, Number 341 (2022), 43-47

<https://doi.org/10.32014/2022.2518-1483.131>

УДК 635.34:631.526.32:574.51.

**D.A. Smagulova<sup>1\*</sup>, N.D. Kurmangalieva<sup>2</sup>, A.S. Sultanova<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Казахский Национальный Аграрный Исследовательский Университет, Алматы, Казахстан;

<sup>2</sup>Казахский научно-исследовательский институт защиты и карантина растений, Алматы, Казахстан.

E-mail: dina.smagulova@mail.ru

**ОЦЕНКА СОРТООБРАЗЦОВ БЕЛОКОЧАННОЙ КАПУСТЫ ПО ХОЗЯЙСТВЕННО-  
ЦЕННЫМ ПРИЗНАКАМ В УСЛОВИЯХ ЮГО-ВОСТОКА КАЗАХСТАНА**

**Аннотация.** В статье приведены исследования по оценке качества и продуктивности сортообразцов белокочанной капусты в условиях юго-востока Казахстана. Полевые опыты закладывали на опытном стационаре ТОО «КазНИИПО» филиала «Кайнар». Все изученные 15 образцов K-2424, TBR globe (США), ВрК-2041 (Китай), ВрК- 2141 (Китай), К-2590, Точка (Россия), К-2395, Slow bolting green early (США), К-2425, Globe 62 MYR (США), К-2185 (Россия), К-2335 (США), К-2053 (Россия), К-1894 (Якутия), К-474 (Германия), К-1737 (Россия), К-1363 (Нидерланды), К-1823 (Россия), К-1803 (США) из мировой коллекции ВИР, в качестве стандарта взят отечественный сорт Надюша. Площадь учётной делянки 21 м<sup>2</sup>, повторность трехкратная, делянка 2-х рядная, количество растений в одном грядке 20, в одной повторности 40, площадь питания 70х50 см. При изучении по качеству кочанов белокочанной капусты выделились 5 образцов ВрК-2041 (Китай), К-2424 (США), К-1894 (Якутия), К-2185 (Россия) и К-1363 (Нидерланды). По продуктивности выделены 7 образцов К-2185 (Россия), К-2424 (США), К-2425, Globe 62 MYR (США), К-2335 (США), К- 2053 (Россия), К-1363 (Нидерланды), К-1823 (Россия).

**Ключевые слова:** сорта капусты, посевные качества семян, семена, плотность кочана, количественные показатели, биохимические показатели.

**Смағұлова Д.Ә.<sup>1\*</sup>, Курманғалиева Н.Д.<sup>2</sup>, Сұлтанова Ә.С.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Қазақ Ұлттық Аграрлық Университеті, Алматы, Қазақстан;

<sup>2</sup>Қазақ өсімдіктерді қорғау және карантин ҒЗИ, Алматы, Қазақстан.

E-mail: dina.smagulova@mail.ru

**ҚАЗАҚСТАННЫҢ ОҢТҮСТІК-ШЫҒЫСЫНЫҢ ШАРУАШЫЛЫҚ-БАҒАЛЫ БЕЛГІЛЕРІ  
БОЙЫНША АҚБАС ҚЫРЫҚҚАБАТТЫҢ СҰРЫПТАРЫН БАҒАЛАУ**

**Аннотация.** Мақалада Қазақстанның оңтүстік-шығыс жағдайындағы ақбас қырыққабаттың сорттық үлгілерінің сапасы мен өнімділігін бағалау бойынша зерттеулер келтірілген. Далалық тәжірибелер “Кайнар” филиалының “ҚазККШҒЗИ” ЖШС тәжірибелік стационарында жүргізілді. Барлық зерттелген 15 үлгілер К-2424, TBR globe (АҚШ), ВрК-2041 (Қытай), ВрК - 2141 (Қытай), к-2590, Точка (Ресей), К-2395, Slow bolting green early (АҚШ), к-2425, Globe 62 MYR (АҚШ), К-2185 (Ресей), К-2335 (АҚШ), К-2053 (Ресей), К-1894 (Якутия), К-474 (Германия), к-1737 (Ресей), К-1363 (Нидерланды), К-1823 (Ресей), К-1803 (АҚШ) Дүниежүзілік ВИР жинағынан отандық «Надюша» сорты стандарт ретінде алынды. Есепке алу учаскесінің ауданы 21 м<sup>2</sup>, қайталануы үш есе, 2 қатарлы учаске, бір қатардағы өсімдіктер саны 20, бір қайталануында 40, қоректену ауданы 70х50 см. Ақ капуста қауданының сапасын зерттеу кезінде ВрК-2041 (Қытай), К-2424 (АҚШ), К-1894 (Якутия), К-2185 (Ресей) және К-1363 (Нидерланды) 5 үлгісі бөлінді. Өнімділік бойынша 7 үлгі К-2185 (Ресей), К-2424 (АҚШ), К-2425, Globe 62 MYR (АҚШ), к-2335 (АҚШ), К - 2053 (Ресей), К-1363 (Нидерланды), К-1823 (Ресей) бөлінді.

**Түйін сөздер:** аққауданды капуста сорттары, тұқым себу сапасы, тұқым, қауданның тығыздығы, сандық көрсеткіштер, биохимиялық көрсеткіштер.

Smagulova D.A.<sup>1\*</sup>, Kurmangalieva N.D.<sup>2</sup>, Sultanova A.S.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Kazakh National Agrarian Research University, Almaty, Kazakhstan;

<sup>2</sup>Kazakh Scientific Research Institute of plant protection and quarantine, Almaty, Kazakhstan.

E-mail: dina.smagulova@mail.ru

## EVALUATION OF VARIETIES OF WHITE CABBAGE ACCORDING TO ECONOMICALLY VALUABLE CHARACTERISTICS IN THE CONDITIONS OF THE SOUTH-EAST OF KAZAKHSTAN

**Abstract.** The article presents studies on the assessment of the quality and productivity of varieties of white cabbage in the conditions of the south-east of Kazakhstan. Field experiments were laid at the experimental hospital of KazRIPVG LLP of the Kainar branch. All 15 samples studied were K-2424, TBR globe (USA), VrK-2041 (China), VrK-2141 (China), K-2590, Dot (Russia), K-2395, Slow bolting green early (USA), K-2425, Globe 62 MYR (USA), K-2185 (Russia), K-2335 (USA), K-2053 (Russia), K-1894 (Yakutia), K-474 (Germany), K-1737 (Russia), K-1363 (Netherlands), K-1823 (Russia), K-1803 (USA) from the VIR world collection, the domestic «Nadyusha» variety is taken as the standard. The area of the accounting plot is 21 m<sup>2</sup>, the repetition is three-fold, the plot is 2-row, the number of plants in one patch is 20, in one repetition is 40, the feeding area is 70x50 cm. When studying the quality of white cabbage heads, 5 samples of VrK-2041 (China), K-2424 (USA), K-1894 (Yakutia), K-2185 (Russia) and K-1363 (Netherlands) were distinguished. According to productivity, 7 samples K-2185 (Russia), K-2424 (USA), K-2425, Globe 62 MYR (USA), K-2335 (USA), K-2053 (Russia), K-1363 (Netherlands), K-1823 (Russia) were identified.

**Key words:** cabbage varieties, sowing qualities of seeds, seeds, head density, quantitative indicators, biochemical parameters.

**Введение.** Капуста – одна из главных овощных культур, имеющая разностороннее применение: пищевое и кормовое. Широкому распространению этой культуры способствовало её ценные хозяйственные свойства – высокая урожайность, холодостойкость, хорошая лёгкость и значительная питательная ценность в сочетании с хорошими вкусовыми качествами. Наличие большого сортового разнообразия весьма различной скороспелости, а также лёгкоспособность используемых органов позволяет иметь свежую разнообразную продукцию в течение почти круглого года, в основном при выращивании в открытом грунте. Биологические особенности капусты обуславливают возделывание её почти во всех уголках земного шара. Кроме того, она легко подвергается различным видам консервирования, в том числе путём замораживания. Белокочанная капуста содержит в кочанах в среднем 8,5% сухого вещества, в составе которого имеются углеводы, значительное количество азотистых веществ и минеральных солей. Углеводы представлены преимущественно сахарами. Общего сахара в белокочанной капусте в среднем содержится 4,2% (от сырого веса). У отдельных сортов сахар может составлять почти  $\frac{3}{4}$  сухого вещества. Поэтому она хорошо заквашивается. По содержанию азотистых веществ капуста превышает брюкву, репу, морковь, свёклу. Большая часть азотистых веществ легко усваивается организмом человека.

Белокочанная капуста ценна наличием в ней витаминов Р, К, В<sub>1</sub>, В<sub>2</sub>, РР - изонит, фолиевой кислоты, биотина. Особенно богата она витамином С (аскорбиновая кислота), содержание которого составляет в среднем 32 мг на 100 г сырого вещества, причём витамин С хорошо сохраняется в квашеной и варёной капусте [1].

Капуста – это один из самых целебных продуктов, который используется повседневно и является одним из самых доступных. Капусту истари считали лечебным растением. В настоящее время её вводят как диетический продукт в пищевые рационы при отдельных видах заболеваний (сердечных и др.). Сок свежей капусты, содержащий витамин U (от латинского слова «ulcus», что означает «язва»), употребляют в качестве эффективного, быстродействующего средства для лечения язвенной болезни желудка и двенадцатиперстной кишки. Витамин U участвует в процессах регенерации слизистой оболочки желудочно-кишечного тракта, обладает сильным противовоспалительным действием. Кроме того, употребление капусты регулирует деятельность кишечника, излечивает язвенные колиты, гастриты, способствует выделению избытка желчных кислот, снижает уровень сахара и холестерина в крови, предупреждает развитие атеросклероза и желчекаменной болезни. Не менее разнообразно наружное употребление капусты. Сок, размельчённую кашу из свежих или варёных листьев капусты, целые

листья (в виде прикладываний, компрессов, полосканий, примочек, обматываний и т.д.) применяют при различных кожных проблемах, головных болях, маститах, радикулитах, а также в косметических целях для отбеливания, очищения и смягчения загрубелой кожи [2].

Овощи имеют огромное значение не только для поддержания жизненных сил человека, но и как действенные лечебные средства, признанные народной и научной медициной. Пищевая ценность и лечебные свойства овощей обусловлены наличием в них разнообразных по составу и строению химических веществ, обладающих широким фармакологическим спектром действия на организм и придающих приготовленным из них блюдам оригинальный вкус и аромат [3].

Все капустные овощи довольно холодостойки и влаголюбивы. Растения опыляются насекомыми, и при выращивании семян разных сортов требуется пространственная изоляция. Родиной большинства возделываемых видов капусты считается Средиземноморье. И только пекинская, китайская и японская имеют восточноазиатское происхождение [4].

Овощи характеризуются высоким содержанием воды, её содержание в белокочанной капусте может превышать 90%. В состав сырого вещества капусты входят: сахара, клетчатка, минеральные элементы и др. Повышенное содержание клетчатки в белокочанной капусте продлевает сохранность, но, вместе с тем, понижает её вкусовые качества как салатной культуры, а более высокое содержание сахара улучшает вкус капусты и её засолочные качества. Изучая биохимический состав капусты, ранее нами было показано содержание как полезных веществ, включая содержание витамина U (метионина), так и вредных для человека соединений, например, нитратов [5]. В настоящей работе нам предстояло проанализировать структуру сухого вещества и в первую очередь содержание в сухом веществе клетчатки и сахаров [6]. Ранее установили, что третьим компонентом по составу сухого вещества является зола, которой в сухом веществе содержится 6-7% [7].

**Материалы и методы исследований.** Лабораторно-полевые опыты закладывали на опытном стационаре ТОО «КазНИИПО» филиала «Кайнар» на предгорных тёмно-каштановых почвах северного склона Заилийского Алатау на высоте 1000 м над уровнем моря.

Оценивались образцы белокочанной капусты из мировой коллекции ВИР. В качестве стандарта взят отечественный сорт Надюша. Площадь учётной делянки 21 м<sup>2</sup>, повторность трехкратная, делянка 2-х рядная, количество растений в одном грядке 20, в одной повторности 40, площадь питания 70x50 см.

Биохимические анализы проводились следующими методами: сахара – по Бертрану, витамин С (аскорбиновая кислота) – по Мурри, сухое вещество – высушиванием навески [8].

Плотность кочана (определяется на его вертикальном разрезе) – важный хозяйственный признак и морфологически характерный для отдельных сортов. Кочаны бывают: очень рыхлые, рыхлые, среднеплотные, плотные и очень плотные. При объективном определении плотности кочана устанавливают его удельные массу путём деления чистой массы кочана (г) [9].

В питомнике коллекции белокочанной капусты оценивались 15 образцов из мировой коллекции ВИР. К-2424, TBR globe (США), ВрК-2041 (Китай), ВрК- 2141 (Китай), К-2590, Точка (Зап.-Сиб. оос), К-2395, Slow bolting green eaely (США), К-2425, Globe 62 MYR, (США), К-2185 (Красноярск), К-2335, (США), К-2053 (Пермск.обл.), К-1894 (Якутия), К-474 (Германия), К-1737 (ПОС ВИР), К-1363 (Нидерланды), К-1823 (Пермск.обл.), К-1803 (США). В качестве стандарта был взят отечественный сорт Надюша.

Полевые опыты проведены по следующим общепринятым классическим методикам: «Методические указания по апробации овощных культур» [9], «Методика опытного дела в овощеводстве и бахчеводстве» [10], Методика полевого опыта (Б.А. Доспехов, 1985) [11], «Методические указания по изучению и поддержанию мировой коллекции капусты» [12].

**Результаты и обсуждение.** Перед посевом проводилась посевная качества семян сортообразцов капусты белокочанной на всхожесть в лабораторных условиях, данные проведены в таблице 1.

Таблица-1 Посевные качества семян сортообразцов белокочанной капусты из мировой коллекции ВИР

№	№ каталога ВИР	Происхождение	Энергия прорастания, %	Всхожесть, %
1	Надюша (стандарт)	Казахстан	66	86
2	К-2424, TBR globe	США	53	90
3	ВрК-2041	Китай	49	85
4	ВрК- 2141	Китай	68	90
5	К-2590, Точка	Зап.-Сиб.оос	55	88

6	К-2395, Slow bolting green early	США	64	89
7	К-2425, Globe 62 MYR	США	65	89
8	К-2185,	Красноярск	43	87
9	К-2335	США	57	90
10	К-2053	Пермск. обл.	51	88
11	К-1894	Якутия	68	94
12	К-474	Германия	33	85
13	К-1737	ПОС ВИР	52	90
14	К-1363	Нидерланды	34	88
15	К-1823	Пермск. обл.	55	85
16	К-1803	США	29	75

Из приведенных данных видно, что всхожесть семян были выше стандарта у образцов К-2335 (США), К-1737 (ВИР), К-2424, TBR globe (США), ВрК- 2141 (Китай) и К-1894 (Якутия) и составила соответственно 90 и 94%. Высокая энергия прорастания отмечена у стандартного сорта Надюша, образцов ВрК- 2141 (Китай), К-2425 (США), К-2395, Slow bolting green early (США), Globe 62 MYR (ВИР) и К-1894 (Якутия).

Таблица-2 Биохимические показатели сортообразцов белокочанной капусты

№	№ каталога ВИР	Сухое вещество, %	Сахара, %	Витамин С, мг%
1	Надюша (стандарт)	9,06	4,15	38,68
2	К-2424, TBR globe	10,52	5,13	38,72
3	ВрК-2041	9,06	5,19	39,08
4	ВрК- 2141	9,95	4,50	35,24
5	К-2590, Точка	10,10	4,48	26,45
6	К-2395, Slow bolting green early	10,16	4,88	37,63
7	К-2425, Globe 62 MYR	9,84	4,37	21,15
8	К-2185	10,04	5,00	39,10
9	К-2335	9,62	4,44	33,43
10	К-2053	9,84	4,93	33,43
11	К-1894	9,82	4,75	37,06
12	К-474	8,76	5,00	39,25
13	К-1737	8,80	4,33	33,40
14	К-1363	9,33	5,06	37,00
15	К-1823	9,55	4,26	24,66
16	К-2059	9,00	4,50	38,44

По биологическим показателям у представленных в таблице 2 образцов имеются некоторые различия. Высокое содержание сухого вещества отмечено у образцов К-2424, К-2185, К-2395 и К-2590. По содержанию сахаров выделились образцы ВрК-2041, К-2424, К-1363, К-474 и К-2185. Стандартный сорт Надюша по этим показателям уступает другим образцам. Содержание витамина С больше всего было у образцов К-2185, К-474, ВрК-2041, К-2424, К-2059, а также стандартного сорта Надюша.

Таблица - 3 Количественные показатели сортообразцов белокочанной капусты

№ п/п	Название образца	Масса кочана, кг	Высота кочана, см	Ширина кочана, см	Плотность	Размер внутр. кочерыги, см	Цвет в разрезе
1	Надюша (стандарт)	2,0	15,6	19,2	плотный	7,0	бледно-желтый белый
2	К-2424, TBR globe	3,2	19,8	21,0	плотный	4,0	бледно-желтый белый
3	ВрК-2041	1,8	16,4	16,0	рыхлый	7,0	бледно-желтый белый
4	ВрК- 2141	2,2	11,3	12,3	рыхлый	5,5	белый
5	К-2590, Точка	1,0	12,6	13,5	очень плотный	6,5	бледно-желтый белый
6	К-2395, Slow bolting green early	1,3	16,0	15,5	рыхлый	8,0	бледно-желтый белый
7	К-2425, Globe 62 MYR	3,3	19,75	21,2	плотный	3,0	бледно-желтый белый
8	К-2185	3,3	21,3	19,2	очень плотный	4,1	белый
9	К-2335	3,1	18,6	18,0	плотный	5,0	бледно-желтый белый
10	К-2053	3,0	19,6	19,5	плотный	3,0	бледно-желтый белый
11	К-1894	1,9	13,5	16,3	плотный	6,2	бледно-желтый белый

12	К-474	1,2	17,2	15,8	рыхлый	10,5	бледно-желтый белый
13	К-1737	1,0	16,6	15,0	рыхлый	6,5	бледно-желтый белый
14	К-1363	3,0	18,8	18,0	плотный	5,0	белый
15	К-1823	3,2	19,4	20,0	плотный	6,5	бледно-желтый белый
16	К-2059	1,2	10,0	16,5	рыхлый	8,0	бледно-желтый белый

Из данных, приведенных в таблице, можно сделать вывод, что масса плода более 3,0 кг, по сравнению со стандартом сорта Надюша, выделились 7 образцов К-2425, К-2185 К-2424, К-1823, К-2335, К-2053 и К-1363. Только 1 образец ВрК- 2141 был на уровне стандарта. Все остальные образцы уступали стандартному сорту Надюша. Средняя длине внутренней кочерыги колебалась от 3,0 до 10,5 см. Внутренние кочерыги наиболее короткие у образцов К-2425, К-2053, К-2424, К-2185, К-2335, К-1363 и ВрК- 2141. Длинные кочерыги были у образцов К-2059, К-2395 и К-474. У остальных образцов длина внутренней кочерыги была практически на уровне стандарта (6,2-7,0%). По плотности уступали стандарту 6 образцов, ВрК-2041, ВрК- 2141, К-2395, К-1737, К-2059, К-474 имеют рыхлую структуру кочана. Все остальные образцы коллекции были на уровне стандарта с плотной структурой кочана или очень плотной.

**Выводы.** 1. По качеству кочанов белокочанной капусты выделилось 5 образцов ВрК-2041, К-2424, К-1894, К-2185 и К-1363. 2. По продуктивности лучшими были образцы К-2185, К-2424, К-2425, Globe 62 MYR, К-2335, К- 2053, К-1363, К-1823.

#### Information about authors:

**Smagulova D.A.** – Kazakh National Agrarian University, Almaty, Kazakhstan; dina.smagulova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8892-1909>;

**Kurmangalieva N.D.** – Kazakh Scientific Research Institute of plant protection and quarantine, Almaty, Kazakhstan; n.kurmangalieva77@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4574-6415>;

**Sultanova A.S.** – Kazakh National Agrarian University, Almaty, Kazakhstan; asemasultan2006@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7451-6531>.

#### REFERENCES

- [1] Кашнова Е.В. Посевы капусты // Западно-Сибирская овощная опытная станция. Барнаул 2007. с.3.
- [2] Овощи России. ГНУ ВНИИССОК, Москва, 2006, В.Ф. Пивоваров. С. 120-128.
- [3] Борисов В.А., Литвинов С.С., Романова А.В. Качество и лежкость овощей. Москва, 2003.
- [4] Родников Н.П., Курюков И.А., Смирнов Н.А. Овощеводство.- Москва, 1978.
- [5] Примаков А.П., Долгая Е.В. Биохимический состав скороспелых сортов и гибридов белокочанной капусты, выращиваемых в Московской области // Вестник РГАУ (Агрономия). Москва: Российский государственный аграрный университет. Заочный университет, 2004. - С. 66-67.
- [6] Покровский А.А. Химический состав пищевых продуктов. - М.: Пищевая промышленность, 1976. - с. 1-225.
- [7] Костенко Г.А., Давлетбаева О.Р. Изучение инбредных линий по хозяйственно ценным признакам и устойчивости к болезням // Доклады ТСХ, выпуск 287. Том 1. Часть 2. Москва, 2015. С.28-30.
- [8] Методы экспериментального бизнеса в овощеводстве и бахчеводстве / Под ред. Белика В.Ф. и Бондаренко Г.Л. М., 1979. 210 с.
- [9] Методические рекомендации по апробации овощных культур. - ВНИИССОК, Москва, 2006.
- [10] Методология экспериментального бизнеса в овощеводстве и бахчеводстве /Под ред. Белика В.Ф. Москва: ВО “Агропромиздат”, 1992.
- [11] Доспехов Б.А. Методология полевого опыта - М., 1985. -372.
- [12] Методические указания. Изучайте и поддерживайте мировую коллекцию капусты. ВИР, 1988 год.

**Ю.А. Юлдашбаев<sup>1</sup>, А.М. Абдулмуслимов<sup>2</sup>, А.А. Хожоков<sup>2</sup>, Д.А. Баймуканов<sup>3\*</sup>**<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет МСХА имени К.А. Тимирязева»,  
Москва, Россия;<sup>2</sup>ФГБНУ «Федеральный аграрный центр республики Дагестан», Махачкала, Республика Дагестан;<sup>3</sup>ТОО «Научно-производственный центр животноводства и ветеринарии» Нур-Султан, Казахстан.

E-mail: baimukanov.dastanbek@bk.ru

**БИОЛОГИЧЕСКИЕ И ХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ МЯСА БАРАНЧИКОВ  
ДАГЕСТАНСКОЙ ГОРНОЙ ПОРОДЫ И ИХ ПОМЕСЕЙ**

**Аннотация.** Овцеводство в Республике Дагестан идет по пути повышения его эффективности за счет увеличения продуктивности овец, снижения затрат на производство и улучшения качества продукции. В хозяйствах республики 71,5% приходится на дагестанскую горную породу овец. В статье приведены показатели убоя, химический и аминокислотный состав, интерьерные особенности мяса баранчиков, полученных от скрещивания маток дагестанской горной породы с баранами российского мясного меринуса. Экспериментальные исследования провели в условиях Агрофирмы «Соградль». Использование баранов-производителей российского мясного меринуса на овцематках дагестанской горной породе в условиях Республики Дагестан, позволило существенно повысить у помесей первого поколения показатели убоя и химического состава мяса. У помесей предубойная масса на 11,7% выше, чем по чистопородным сверстникам, убойный выход превосходил на 3,1%. У чистопородных дагестанских баранчиков содержание жира в мясе составляло 9,8%. При убое 7-месячных баранчиков дагестанской горной породы и помесей F<sub>1</sub> (ДГхРММ) показало, что, по данным процентных показателей, субпродуктов 1 и 2 категории у помесных баранчиков составило 3,87 и 7,85%, что на 0,18 и 1,46% больше показателей чистопородных баранчиков. В мясе помесных животных отмечено меньшее количество таких аминокислот, как валин, лейцин и изолейцин: на 2%, на 1,6%, нежели у сверстников соответственно. Превосходство помесей над чистопородными животными отмечалось по количеству аминокислот, участвующих в нормализации функций сердца и печени: метионина (на 7,7%) и триптофана (на 1,8%).

**Ключевые слова:** порода, убой, мясная продуктивность, аминокислоты, химический состав мяса, интерьерные особенности.

**Ю.А. Юлдашбаев<sup>1</sup>, А.М. Абдулмуслимов<sup>2</sup>, А.А. Хожоков<sup>2</sup>, Д.А. Баймуканов<sup>3\*</sup>**<sup>1</sup>ФМББМЖБ «К.А. Тимирязев атындағы Мәскеу ауылшаруашылық академиясы», Мәскеу, Ресей;<sup>2</sup>ФМБҒМ «Дағыстан республикасының федеральды аграрлық орталығы», Махачкала, Дағыстан;<sup>3</sup>«Мал шаруашылығы және ветеринария ғылыми-өндірістік орталығы» ЖШС»

Нұр-Сұлтан, Қазақстан.

E-mail: baimukanov.dastanbek@bk.ru

**ДАҒЫСТАН ТАУЛЫ ҚОЙ ТҰҚЫМЫНЫҢ ЖӘНЕ ОЛАРДЫҢ БУДАНДАРЫНЫҢ  
ЕТТЕРІНІҢ БИОЛОГИЯЛЫҚ ЖӘНЕ ХИМИЯЛЫҚ КӨРСЕТКІТЕРІ**

**Аннотация.** Дағыстан Республикасында қой шаруашылығы қойлардың өнімділігін арттыру, өндіріс шығындарын азайту және өнім сапасын жақсарту арқылы оның тиімділігін арттыру жолымен жүргізіледі. Республика шаруашылығының 71,5% дағыстан таулы қой тұқымы құрайды. Мақалада сойыс шығымы, химиялық және аминқышқылдық құрамы, дағыстан таулы тұқымын ресейлік мериноспен шағылыстыру нәтижесінде алынған қойларының еттерінің интерьерлерлі ерекшеліктері

келтірілген. Тәжірибиелік жұмыстар «Согратль» агрофирмасы жағдайында іске асырылды. Дағыстан Республикасының жағдайында Дағыстан тау тұқымы қойларына ресейлік меринос қосқарларын қолдану бірінші буын ұрпақтарында сойыс шығымының ұлғаюына еттің химиялық құрамын едәуір жақсартты. Будандарда таза тұқымдыларға қарағанда сойыс алдындағы масса 11,7%-ға жоғары, сойыс шығымы 3,1%-ға жоғары болды. Дағыстанның таза тұқымды қосқарларында ет құрамындағы май мөлшері 9,8% құрады. Дағыстан таулы тұқымының және (ДТхРЕМ)F<sub>1</sub> будандарының 7 айлық марқаларын сойғанда көрсеткендей, будандарда 1 және 2 категорияның қосымша өнімдерінің үлесі 3,87 және 7,85% құрады, ол өз кезегінде таза тұқымды қойлардан 0,18 және 1,46% артық. Аралас жануарлардың етінде таза тұқымдыға қарағанда валин, лейцин және изолейцин сияқты аминқышқылдарының аз мөлшері байқалды. Будан жануарлардың етінде валин, лейцин және изолейцин сияқты аминқышқылдарының мөлшері 2% және 1,6% аз болды. Таза тұқымды жануарлардан будандардың артықшылығы жүрек пен бауыр функцияларын қалыпқа келтіруге қатысатын аминқышқылдарының мөлшері бойынша байқалды: метионин (7,7%) және триптофан (1,8%).

**Түйін сөздер:** тұқым, сою, ет өнімділігі, аминқышқылдар, еттің химиялық құрамы, интерьер ерекшеліктері.

**Yu.A. Yuldashbayev<sup>1</sup>, A.M. Abdulmuslimov<sup>2</sup>, A.A. Khozhokov<sup>2</sup>, D.A. Baimukanov<sup>3\*</sup>**

<sup>1</sup>FGBOU VO “Russian State Agrarian University of the Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev”, Moscow;

<sup>2</sup>FGBNU “Federal Agrarian Center of the Republic of Dagestan”, Makhachkala, Republic of Dagestan;

<sup>3</sup>Research and Production Center for Livestock and Veterinary Medicine LLP, Nur-Sultan, Kazakhstan.

E-mail: baimukanov.dastanbek@bk.ru

## **BIOLOGICAL AND CHEMICAL PARAMETERS OF MEAT OF SHEEP OF THE DAGESTAN MOUNTAIN BREED AND THEIR HYBRIDS**

**Abstract.** Sheep breeding in the Republic of Dagestan follows the path of increasing its efficiency by increasing the productivity of sheep, reducing production costs and improving product quality. On the farms of the republic, 71.5% is accounted for by the Dagestan rock breed of sheep. The article presents the slaughter indicators, chemical and amino acid composition, interior features of the meat of the rams obtained from the crossing of the queens of the Dagestan rock breed with the rams of the Russian meat merino. Experimental studies were carried out in the conditions of the Agrofirma “Sogratl”. The use of rams-producers of Russian meat merino on ewes of the Dagestan rock breed in the Republic of Dagestan, made it possible to significantly increase the slaughter and chemical composition of meat in first-generation hybrids. In hybrids, the pre-slaughter weight was 11.7% higher than in purebred peers, the slaughter yield exceeded by 3.1%. In purebred Dagestan rams, the fat content in meat was 9.8%. When slaughtering 7 month old rams of the Dagestan rock and F1 hybrids (DGxRMM) showed that, according to the percentage of offal of the 1st and 2nd category, the hybrid rams were 3.87 and 7.85%, which is 0.18 and 1.46% more indicators of purebred rams. In the meat of hybrid animals, a smaller amount of amino acids such as valine, leucine and isoleucine was noted: by 2%, by 1.6% than in their peers, respectively. The superiority of hybrids over purebred animals was noted in the number of amino acids involved in the normalization of the functions of the heart and liver: methionine (by 7.7%) and tryptophan (by 1.8%).

**Key words:** breed, slaughter, meat productivity, amino acids, chemical composition of meat, interior features.

**Введение.** В тонкорунном овцеводстве до недавнего времени основное внимание уделялось повышению шерстной продуктивности и улучшению качества шерсти, однако в последнее время ситуация изменилась, экономически значимой продукцией в овцеводстве всех направлений стала мясная продуктивность [1,2].

В отечественном тонкорунном овцеводстве имеются породы, хорошо сочетающие высокий уровень мясной шерстной и продуктивности, к таким породам относится и новая порода тонкорунных овец – российский мясной меринос.

Для повышения мясной продуктивности овец дагестанской горной породы нами проведено скрещивание их с баранами-производителями породы российский мясной меринос [3,4].

В этой связи большое значение для дальнейшего развития тонкорунного овцеводства имеет разработка по изучению хозяйственно-полезных признаков молодняка дагестанских тонкорунных овец и их помесей с баранами породы российский мясной меринос в зависимости от отгонно-пастбищной системы содержания применяемой в Дагестане.

**Цель исследований** – изучить мясную продуктивность, интерьерные особенности и аминокислотный состав мяса молодняка дагестанских тонкорунных овец и их помесей с баранами породы российский мясной меринос.

**Материал и методика.** Опыт проводился в условиях Агрофирмы «Согратль» Гунибского района. Для скрещивания маток дагестанской горной породы с баранами-производителями породы российский мясной.

При ягнении овцематок были сформированы две группы ягнят: 1 группа – ягнята чистопородные (ДГ), 2 группа – ягнята-помеси (ДГ x РММ) в количестве по 20 голов в каждой группе. После завершения нагула мясного контингента по методике ВИЖа (1978) был проведен контрольный убой трех типичных баранчиков из каждой группы.

**Результаты и обсуждение:** контрольного убоя в 7-мес. возрасте чистопородных баранчиков и помесей первого поколения ( $F_1$ ) свидетельствуют о существенных различиях по показателям убоя и химическому составу мяса между этими группами (табл. 1).

Таблица 1 - Показатели убоя баранчиков разного происхождения

Показатели	1-группа дагестанская горная	2-группа помеси $F_1$ (ДГxРММ)
Масса, кг:		
предубойная	30,9±0,44	35,0±0,92
убойная	14,6	17,6
Убойный выход, %	47,2	50,3
Массовая доля:		
белок	22,2	22,1
жир	9,8	10,2
влага	67,2	66,9
зола	0,86±0,13	0,83±0,12
Калорийность 1кг мяса:		
ккал	1019,5	1069,8

Предубойная масса у помесей составила 35 кг, что на 4,1 кг или 11,7% выше, чем по чистопородным сверстникам. Убойная масса у помесей составила 17,6 кг, тогда как у чистопородных сверстников 14,6 кг, что на 17,0% меньше чем по сверстникам дагестанской породы. Убойный выход по баранчикам дагестанской породе составил 47,25%, тогда как у помесей данный показатель превосходил сверстников на 3,1 процента (50,3%).

По содержанию жира в мясе наиболее высокие показатели (10,2%) имели помеси  $F_1$  от баранов российского мясного мериноса, нежели мясо сверстников дагестанской горной породы. У чистопородных дагестанских баранчиков содержание жира в мясе составляло 9,8%. В обратной зависимости находилось содержание влаги в мякоти изучаемых животных.

Калорийность мяса была выше также по помесям и составила 1069,8ккал или 4,48 МДж и превысило показатели по чистопородным дагестанским сверстникам на 50,3 ккал или 0,21 МДж.

Таким образом, с использование баранов-производителей российского мясного мериноса на овцематках дагестанской горной породе в условиях Республики Дагестан, позволило существенно повысить у помесей первого поколения показатели убоя и химического состава мяса.

Изучение внутренних органов имеет большое значение в познании интерьерных особенностей овец разных внутривидовых типов и пород, так как внутренние органы выполняют в организме животного различные жизненно важные функции [5,6,7,8].

У мелкого рогатого скота выход субпродуктов составляет 20% от живой массы животного.

Таблица 2 - Масса внутренних органов баранчиков, кг

Показатели	1-группа дагестанская горная		2-группа помеси $F_1$ (ДГxРММ)	
Предубойная живая масса	30,93±0,44	100	35,0±0,92	100
Кровь	1,535±0,14	4,96	1,780±0,25	5,09
Субпродукты 1 категории:				
Диафрагма	0,152±0,008	0,49	0,159±0,008	0,45

Печень	0,529±0,003	1,71	0,681±0,007	1,95
Почки	0,115±0,0001	0,50	0,154±0,005	0,44
Сердце	0,167±0,004	0,54	0,223±0,015	0,67
Язык	0,139±0,003	0,45	0,127±0,004	0,36
Субпродукты 2 категории:				
Легкие с трахеей	0,501±0,021	1,62	0,740±0,033	2,11
Селезенка	0,065±0,0001	0,21	0,115±0,0001	0,44
Семенники	0,209±0,028	0,68	0,263±0,032	0,75
Рубец	1,200±0,0006	3,88	1,593±0,0013	4,55

Анализ полученных данных таблицы свидетельствует, что лучшее развитие имели внутренние органы у помесных баранчиков F<sub>1</sub>(ДГхРММ) по сравнению с чистопородными аналогами, так удельный вес сердца у помесных баранчиков составил 0,67%, что на 0,13% тяжелее чистопородных животных, также и по показателям удельного веса печени у помесных баранчиков составил 1,71%, что на 0,24% превышает показатель дагестанской горной породы.

Субпродукты 1 категории, куда входит диафрагма, мозги, печень, почки, сердце и язык в процентах составляют 3,69, и 3,87% по изучаемым группам баранчиков, соответственно. Субпродукты 2 категории, куда входят голова (без языка), лёгкие с трахеей, селезенка, рубец составили 6,39 и 7,85%, соответственно.

В целом удельный вес субпродуктов в сумме по 1 и 2 категории в среднем по всем группам составляет 16%.

Таким образом, сравнительные результаты интерьерных особенностей при убое 7 месячных баранчиков дагестанской горной породы и помесей F<sub>1</sub> (ДГхРММ) показало, что по данным процентных показателей субпродуктов 1 и 2 категории у помесных баранчиков составило 3,87 и 7,85%, что на 0,18 и 1,46% больше показателей чистопородных баранчиков.

Баранина по своим вкусовым качествам, из-за низкого содержания в жире холестерина, относится к группе диетических продуктов. Самый высокий прирост мышечной ткани у молодняка овец наступает после отбивки, особенно в течение последующих 4-6 месяцев жизни [9,10].

Аминокислотный состав белка является главным показателем, на основании которого можно судить о биологической ценности мяса. В настоящее время известно более 80 аминокислот. В то же время наиболее интересными и значимыми являются 20 из них, входящие в комплекс обязательных веществ, необходимых для синтеза белка [11,12].

В ходе исследований нами было установлено, что белок мышечной ткани 7-месячных баранчиков содержит как заменимые, так и незаменимые аминокислоты (табл. 1).

В мясе помесных животных нами было отмечено меньшее количество таких аминокислот, как валин, лейцин и изолейцин: на 2%, на 1,6% соответственно.

Таблица 3 - аминокислотный состав мяса баранчиков, мг/100 г продукта

Аминокислота	1-группа дагестанская горная	2-группа помеси F <sub>1</sub> (ДГхРММ)
Незаменимые аминокислоты		
лизин	1103,3	1091,7
фенилаланин	536,0	526,3
лейцин + изолейцин	1542,0	1517,7
метионин	213,0	229,3
валин	562,3	553,7
триптофан	2220,0	2232,3
Сумма незаменимых аминокислот	6176,6	6151,0
Заменимые аминокислоты		
аргинин	669,3	681,3
тирозин	415,3	416,3
гистидин	286,7	265,7
пролин	613,3	575,3
серин	411,7	409,0
аланин	872,0	833,3
глицин	791,3	699,0
Сумма заменимых аминокислот	4059,6	3879,9

Данная группа аминокислот имеет особое значение для формирования мышечной массы, костей и связок, являясь строительным материалом для синтеза белков костно-мышечного аппарата. Лейцин окисляется в мышцах до углекислого газа за счет интенсивного метаболизма. Следовательно, эти аминокислоты активно участвуют в описанных процессах данной опытной группы на этапе формирования и роста организма. Кроме того, лизина было меньше на 1%, что мы связываем с усиленным ростом организма и интенсивным обменом веществ, так как лизин расходуется практически во всех видах метаболизма, а фенилаланина – участника синтеза коллагена и соединительной ткани, было меньше у помесных баранчиков на 1,8%.

Превосходство же отмечалось по количеству аминокислот, участвующих в нормализации функций сердца и печени: метионина (на 7,7%) и триптофана (на 1,8%).

**Заключение.** Таким образом, в мясе помесных животных отмечено меньшее количество таких аминокислот, как валин, лейцин и изолейцин: на 2%, на 1,6%, нежели у сверстников соответственно. Эти аминокислоты активно участвуют в формировании и росте организма. Также у помесей было меньше лизина на 1% и фенилаланина на 1,8%. что мы связываем с усиленным ростом организма и интенсивным обменом веществ, а также активным синтезом коллагена и соединительной ткани. Превосходство помесей над чистопородными животными отмечалось по количеству аминокислот, участвующих в нормализации функций сердца и печени: метионина (на 7,7%) и триптофана (на 1,8%).

#### Information about authors:

**Yuldashbayev Yusupzhan Artykovich**, Academician of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Dean of the Faculty of Zootechnics and Biology, Professor of the Department of Private Zootechnics, Russian State Agrarian University - Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia, E-mail: zoo@rgau-msha.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7150-1131>;

**Abdulmuslimov Abdulmuslim Mukhudinovich**, Cand. agricul. Sci., Researcher, FNATS Dagestan Research Institute of Agriculture, Doctoral Candidate of the Russian State Agrarian University-Moscow Timiryazev Agricultural Academy. 127550 Moscow, st. Timiryazevskaya, 49. tel.: (499) 9760236; e-mail: zoo@rgau-msha.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9891-4542>;

**Khozhokov Abdusalam Abdusalamovich**, Cand. agricul. Sci., Researcher FNATS Dagestan Research Institute of Agriculture, 367014 RD, Makhachkala, Akushinsky Ave., Scientific town, 8 (8722) 60-07-26; e-mail: ot\_zhiv@mail.ru ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7303-0222>;

**Baimukanov Dastanbek Asylbekovich**, Corresponding Member of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Doctor of Agricultural Sciences, head of the department of animal husbandry and veterinary medicine, Chief Researcher of the Research and Production Center for Livestock and Veterinary Medicine Limited Liability Company, 010000 (Z10P6B8), office 1505, 40, Kenesary street, Nur-Sultan, 010000 (Z10P6B8), Republic of Kazakhstan; Professor of the Department Physiology, Morphology and Biochemistry named after academician N.U. Bazanova, Kazakh National Agrarian University, Almaty, Kazakhstan, E-mail: baimukanov.dastanbek@bk.ru, ORCID: <https://orcid.org/ID 0000-0002-4684-7114>.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Двалишвили В.Н. Российское овцеводство – современное состояние // [www.agrodel.livejournal](http://www.agrodel.livejournal).
- [2] Ерохин А.И. Интенсификация производства и повышение качества мяса овец: монография / А.И. Ерохин, Е.А. Карасев, С.А. Ерохин. – М.: МЭСХ. – 2015. – 304 с.
- [3] Сельское хозяйство России: акцент на овцеводстве. <http://www.aitax—agro.ru/ru/press/view/5>.
- [4] Гаглоев А.Ч., Негреева А.Н., Фролов Д.А. Качества мяса и жира разного генотипа / А.Ч. Гаглоев, А.Н. Негреева, Д.А. Фролов // Технологии пищевой перерабатывающей промышленности АПК-продукты здорового питания. – 2016.–№2.–С.–15.
- [5] Абдильденов К.А. Интерьерные особенности грубошерстных пород овец на юго-востоке Казахстана/ К.А. Абдильденов // Известия Оренбургского государственного аграрного университета.–2017.–№ 4 (66).– С. 191-192.
- [6] Сазонова И.А. Влияние кормового рациона естественных пастбищ Поволжья на химический состав мяса молодняка овец / И.А. Сазонова //Эффективное животноводство. – 2018.–№4.– С. 78-79.
- [7] Сафонова Н.С. Интерьерные особенности чистопородного и помесного молодняка овец кавказской породы/ Н.С. Сафонова // В сборнике: Методы и технические средства повышения эффективности использования электрооборудования в промышленности и сельском хозяйстве. – 2016. –С. 133-138.

[8] Погодаев В.А., Сергеева Н.В., Арилов А.Н., Адучиев Б.К. Интерьерные особенности молодняка овец калмыцкой курдючной породы и их помесей с баранами породы дорпер / В.А. Погодаев, Н.В. Сергеева, А.Н. Арилов, Б.К. Адучиев // Сельскохозяйственный журнал.– 2018.–№ 1 (11).– С. 61-66.

[9] Антипова Л.В. Методы исследования мяса и мясопродуктов: / И.А. Глотова, И.А. Рогов – М.: КолосС, 2004. – 571 с.

[10] Браунштейн А.Е. Значение аминокислот в питании и в регуляции обмена веществ / А.Е. Браунштейн // Вопросы питания. – 1957. – Т. 16. - №5. – С. 45-60.

[11] Карабаева М.Э. Мясная продуктивность и качество мяса молодняка овец разных генотипов / М.Э. Карабаева, Н. Котова // Ветеринария сельскохозяйственных животных. - №1. – 2017. – С.38.

[12] Королев В.М. Аминокислотный состав мяса баранчиков / В.М. Королев, Г.С. Авсаджанов, Г.М. Чочиев // Ученые записки: в 2 т. – Нальчик, 1972. – С. 2-5.

#### REFERENCES

[1] Dvalishvili V.N. Russian sheep breeding – the current state // [www.agrodel.livejournal](http://www.agrodel.livejournal.com). (In Russ.).

[2] Erokhin A.I. (2015). Intensification of production and improvement of the quality of sheep meat: monograph / A.I. Erokhin, E.A. Karasev, S.A. Erokhin. - М.: MESKH. - 2015. - 304 p. (In Russ.)/.

[3] Agriculture of Russia: emphasis on sheep breeding. <http://www.aitax—agro.ru/ru/press/view/5>. (In Russ.)/

[4] Gagloev A.Ch., Negreeva A.N., Frolov D.A. (2016). The quality of meat and fat of different genotypes. Technologies of the food processing industry of the agroindustrial complex-healthy food products. No. 2. P. – 15. (In Russ.)/

[5] Abdildenov K.A. (2017). Interior features of rough-haired sheep breeds in the south-east of Kazakhstan. Proceedings of the Orenburg State Agrarian University. № 4 (66). P. 191-192. (In Russ.)/.

[6] Sazonova I.A. (2018). The influence of the feed ration of natural pastures of the Volga region on the chemical composition of young sheep meat. Effective animal husbandry. No. 4. P.p. 78-79. (In Russ.)/.

[7] Safonova N.S. (2016). Interior features of purebred and crossbred young sheep of the Caucasian breed. In the collection: Methods and technical means of improving the efficiency of the use of electrical equipment in industry and agriculture. P. 133-138. (In Russ.)/.

[8] Pogodaev V.A., Sergeeva N.In., Arrow A.N., Adoucie B.K. (2018). Interior features of young sheep Kalmyk sheep breeds and their crosses with sheep breed dorper. Crop magazine. № 1 (11). S. 61-66. (In Russ.)/.

[9] Antipova L.V., Glotova I.A., Rogov I.A. (2004). Methods of research of meat and meat products. M.KolosS. 571 p. (In Russ.)/.

[10] Braunstein A.E. (1957). The value of amino acids in nutrition and in the regulation of metabolism. Nutrition issues. Vol. 16. -No. 5. P.p. 45-60. (In Russ.)/.

[11] Karabaeva M.E., Kotova N. (2017). Meat productivity and quality of meat of young sheep of different genotypes. Veterinary medicine of farm animals. No. 1. 2017. P. 38.

[12] Korolev V.M., Avsadzhanov G.S., Chochiev G.M. (1972). Amino acid composition of lamb meat. Scientific notes: in 2 volumes-Nalchik. P.p. 2-5. (In Russ.)/.

**Р.Н. Асылбаев<sup>1\*</sup>, Г.М. Баубекова<sup>2</sup>, Э.Ш. Анаева<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Павлодарский педагогический университет, Павлодар, Казахстан;

<sup>2</sup>Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан.

E-mail: [ruslanassylbay@yandex.ru](mailto:ruslanassylbay@yandex.ru)

## ТЕРМОСТИМУЛИРОВАННАЯ ЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ КРИСТАЛЛОВ MgO И CaF<sub>2</sub>, ОБЛУЧЕННЫХ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ ИОНАМИ

**Аннотация.** Монокристаллы оксида магния MgO и фторида кальция CaF<sub>2</sub> являются широкозонными диэлектрическими материалами, применяемыми в науке и технике. В данной исследовательской работе образцы MgO и CaF<sub>2</sub>, предварительно облученные при комнатной температуре высокоэнергетическими ионами Xe<sup>132</sup> с энергией иона 230 МэВ с флюенсом 10<sup>13</sup> - 5·10<sup>13</sup> ион/см<sup>2</sup>, были изучены методами термоактивационной спектроскопии. Ток облучения был в пределах 5-6 нА/см<sup>2</sup>. Для данных образцов были измерены кривые термостимулированной люминесценции при линейном нагреве со скоростью 2 К/с в интервале температур от 300 до 750 К. Полученные кривые демонстрируют комплексную структуру, состоящую из элементарных пиков. Путем аппроксимации экспериментальной кривой термостимулированной люминесценции кристаллов MgO и CaF<sub>2</sub> функциями первого порядка кинетики были выделены отдельные пики термовысвечивания. Посредством аппроксимации исследованы кинетические параметры зарядовых ловушек: вычислены энергии активации и частотные факторы. Все выполненные теоретические аппроксимации в рамках данной работы были в пределах допустимого значения погрешности до 3.5%. Для кристалла CaF<sub>2</sub> дополнительно измерены и изучены спектры термостимулированной люминесценции в интервале температур от 340 до 630 К при нагреве с постоянной скоростью 10 К/с. Определен спектральный состав отдельных пиков термостимулированной люминесценции – для отдельных пиков были сопоставлены полосы свечения при термовозбуждении. Для каждой полосы свечения представлены температурные зависимости их интенсивности. Полученные экспериментальные результаты были проанализированы и определены предположительные радиационные дефекты, ответственные за термостимулированную люминесценцию.

**Ключевые слова:** оксид магния, фторид кальция, ионное облучение, радиационные дефекты, термостимулированная люминесценция.

**Р.Н. Асылбаев<sup>1\*</sup>, Г.М. Баубекова<sup>2</sup>, Э.Ш. Анаева<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Павлодар педагогикалық университеті, Павлодар, Қазақстан;

<sup>2</sup>Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Нұр-Сұлтан, Қазақстан.

E-mail: [ruslanassylbay@yandex.ru](mailto:ruslanassylbay@yandex.ru)

## ЖОҒАРЫ ЭНЕРГИЯЛЫҚ ИОНДАРМЕН СӘУЛЕЛЕНГЕН CaF<sub>2</sub> ЖӘНЕ MgO МОНОКРИСТАЛДАРЫНЫҢ ТЕРМОБЕЛСЕНДІРІЛГЕН ЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯСЫ

**Аннотация.** Магний оксиді MgO мен кальций фториді CaF<sub>2</sub> монокристалдары ғылым мен техникада кеңінен қолданылатын кең аймақты диэлектрлік материалдар болып табылады. Бұл зерттеу жұмысында алдын ала бөлме температурасында энергиясы 230 МэВ болатын жоғары энергиялы Xe<sup>132</sup> иондарымен

$10^{13}$  -  $5 \cdot 10^{13}$  ион/см<sup>2</sup> флюенс аралығында сәулелендірілген MgO және CaF<sub>2</sub> үлгілері термобелсенді спектроскопия әдістерімен зерттелді. Сәулелендіру тогы 5 - 6 нА/см<sup>2</sup> аралығында болды. Бұл үлгілер үшін 300-ден 750 К-ге дейінгі температура аралығында 2 К/с жылдамдықпен сызықтық қыздыру кезінде термобелсендірілген люминесценция қисықтары өлшенді. Алынған қисықтар қарапайым шыңдардан тұратын күрделі құрылым болып келетіні анықталды. MgO және CaF<sub>2</sub> кристалдарының термобелсендірілген люминесценциясының эксперименттік қисығын кинетиканың бірінші ретті функциялары бойынша аппроксимациялау арқылы термолюминесценцияның жеке шыңдарын анықтау мүмкіндігі туды. Аппроксимациялау арқылы заряд тұзақтарының кинетикалық параметрлері зерттелді: активтендіру энергиясы мен жиілік факторлары есептелді. Осы жұмыс шеңберінде барлық орындалған теориялық жуықтаулар қателіктің рұқсат етілген мәні шегінде 3.5%-ға дейін болды. CaF<sub>2</sub> кристалы үшін қосымша зерттеу ретінде 10 К/с тұрақты жылдамдықпен 340-тан 630 К дейінгі температура аралығында қыздырылған кезде пайда болатын термобелсендірілген люминесценция спектрлері өлшенді және зерттелді. Термобелсендірілген люминесценцияның жеке шыңдарының спектрлік құрамы анықталды және жеке шыңдар үшін термиялық қоздыру кезіндегі жарқыл жолақтары салыстырылды. Әрбір жарқыл жолағы үшін олардың қарқындылығының температуралық тәуелділік графиктері көрсетілді. Алынған эксперименттік нәтижелер талданып, болжам бойынша термобелсендірілген люминесценцияға жауап беретін радиациялық ақаулар анықталды.

**Түйін сөздер:** магний оксиді, кальций фториді, иондық сәулелену, радиациялық ақаулар, термобелсендірілген люминесценция.

**R. Assylbayev<sup>1\*</sup>, G. Baubekova<sup>2</sup>, E. Anaeva<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Pavlodar Pedagogical University, Pavlodar, Kazakhstan;

<sup>2</sup>L.N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, Kazakhstan.

E-mail: ruslanassylbay@yandex.ru

### **THERMOSTIMULATED LUMINESCENCE OF CaF<sub>2</sub> AND MgO SINGLE CRYSTALS IRRADIATED WITH HIGH-ENERGY IONS**

**Abstract.** Single crystals of magnesium oxide MgO and calcium fluoride CaF<sub>2</sub> are wide-band dielectric materials used in science and technology. In this research paper, samples of MgO and CaF<sub>2</sub> pre-irradiated at room temperature with high-energy Xe<sup>132</sup> ions with an ion energy of 230 MeV with fluence  $10^{13}$  -  $5 \cdot 10^{13}$  ion/cm<sup>2</sup> were studied by thermal activation spectroscopy. The irradiation current was in the range of 5-6 nA/cm<sup>2</sup>. For these samples, thermally stimulated luminescence curves were measured under linear heating at a rate of 2 K/s in the temperature range from 300 to 750 K. The resulting curves demonstrate a complex structure consisting of elementary peaks. By approximating the experimental curve of thermally stimulated luminescence of MgO and CaF<sub>2</sub> crystals by first-order kinetic functions, separate peaks of thermal illumination were isolated. Kinetic parameters of charge traps are investigated by means of approximation: activation energies and frequency factors are calculated. All theoretical approximations performed within the framework of this work were within the permissible error value up to 3.5%. For the CaF<sub>2</sub> crystal, the thermally stimulated luminescence spectra were additionally measured and studied in the temperature range from 340 to 630 K when heated at a constant rate of 10 K/s. The spectral composition of individual peaks of thermally stimulated luminescence was determined – for individual peaks, the glow bands during thermal excitation were compared. Temperature dependences of their intensity are presented for each glow band. The experimental results obtained were analyzed and the suspected radiation defects responsible for the thermally stimulated luminescence were determined.

**Key words:** magnesium oxide, calcium fluoride, ion irradiation, radiation defects, thermostimulated luminescence.

**Введение.** Монокристаллы фторида кальция CaF<sub>2</sub> и оксида магния MgO являются популярными широкозонными ионными кристаллами. Применение данных материалов обусловлено целым рядом их свойств. MgO имеет гранецентрированную кубическую структуру с шириной запрещенной зоны 7.8 эВ. Данный материал является перспективным для атомной и термоядерной энергетики из-за своей высокой радиационной стойкости и низкой эффективности создания и накопления радиационных дефектов. CaF<sub>2</sub> является ионным кристаллом гранецентрированной кубической структуры с шириной

запрещенной зоны около 12 эВ. Данный объект в основном используется в качестве оптического материала из-за своей прозрачности в широком спектральном диапазоне и достаточно низкого показателя преломления. Также  $\text{CaF}_2$  применяется в качестве сцинтилляционного детектора и радиационного дозиметра. Присутствие примесей и создание собственных дефектов при облучении ионизирующей радиацией сильно влияет на свойства данных материалов.

В данной статье был проведен анализ кривых и спектров термостимулированной люминесценции для кристаллов  $\text{MgO}$  и  $\text{CaF}_2$ , облученных высокоэнергетическими ионами  $\text{Xe}^{132}$  с энергией иона 230 МэВ. Посвящен ряд работ изучению влияния ионного облучения на монокристаллы  $\text{MgO}$  [1]–[6] и  $\text{CaF}_2$  [7]–[11]. В настоящей статье особое внимание было уделено монокристаллу  $\text{CaF}_2$  из-за его широкого применения в радиационной дозиметрии [12]. Известно, что одним из главных требований к термолюминесцентным дозиметрам является стабильность дозиметрических пиков свечения. Работа термолюминесцентных дозиметров связана с процессом термостимулированной люминесценции (ТСЛ). ТСЛ – это излучение света предварительно подвергнутым воздействию радиации веществом, происходящее во время его последующего нагрева. Причиной ТСЛ является то, что множество вакансий, интерстициалов и дислокаций могут действовать как зарядовые ловушки для электронов и дырок и/или люминесцентные центры. Последующее освобождение захваченных носителей зарядов посредством нагрева образца может приводить к излучению света. Интенсивность ТСЛ пропорциональна концентрации ловушек, а также поглощенной дозе радиации, что позволяет использовать данное явление в радиационной дозиметрии.

Термолюминесценция используется в качестве экспериментального метода для изучения электронных и дырочных ловушек в твердых телах, а также кинетики процессов захвате и рекомбинации. Изучение термолюминесцентных свойств кристаллов  $\text{MgO}$  и  $\text{CaF}_2$  играет важную роль в термолюминесцентной дозиметрии (ТЛД). Несмотря на то, что кристалл  $\text{MgO}$  не так популярен в данной отрасли, имеются работы, посвященные применению данного материала в качестве ТЛД для регистрации нейтронной радиации в смешанном поле нейтрон-гамма радиации [13].

Настоящая статья является логическим продолжением работы [14], где представлены результаты исследования ТСЛ для  $\text{CaF}_2$ , облученных различными дозами (флюенсами) ионов  $\text{Xe}^{132}$ . В настоящей работе были исследованы спектры ТСЛ и отдельные полосы свечения были сопоставлены с пиками ТСЛ.

**Материалы и методы.** Монокристаллы  $\text{MgO}$  высокой чистоты были выращены в лаборатории Физики ионных кристаллов Института физики Тартуского университета (г. Тарту, Эстония) методом дуговой плавки. Монокристаллы  $\text{CaF}_2$  были выращены в Государственном оптическом институте им. С.И. Вавилова (Санкт-Петербург, РФ) методом Бриджмана-Стокбаргера в графитовом тигле.

Образцы были облучены ионами  $\text{Xe}^{132}$  с энергией 230 МэВ/ион, зарядом +22e (e – заряд электрона) с флюенсом  $5 \cdot 10^{13}$  ион/см<sup>2</sup>. Облучение выполнялось на циклотроне DC-60 (г. Нур-Султан, Казахстан).

Кривые термостимулированной люминесценции измерялись на установке Harshaw Model 3500 TLD Reader. Принцип действия установки основан на преобразовании энергии ионизирующего излучения, поглощенного исследуемым кристаллом, в световое излучение с помощью контролируемого нагрева. Работа прибора контролируется программным обеспечением WinREMS. Нагрев проводится в интервале температур 300-873 К.

Исследование спектров излучения в области различных пиков ТСЛ облученного образца было выполнено в криостате Janis VPF-800 с использованием двухканального регистрационного метода. Кривые ТСЛ записывались фотонно-счетной головкой Hamamatsu H8259 в интервале температур 295-750 К при скорости нагрева 10 К/мин, контролируемой температурным регулятором LakeShore 335. Для понижения интенсивности интегральной кривой ТСЛ перед H8259 ставился нейтральный стеклянный фильтр HC-13. Спектр излучения измерялся за время 60 с, измерения повторялись в каждом пике ТСЛ с использованием решеточного монохроматора ARC SpectraPro 2300i, оснащенного охлаждаемым азотом CCD детектором. При данной скорости нагрева каждый спектр излучения измерялся за температурный промежуток в 10 К. Эксперимент контролировался компьютерной программой на базе LabView.

Для анализа кривых ТСЛ был использован метод аппроксимации с применением функции для первого порядка кинетики по формуле (1) [15]:

$$I_1(T) = I_m \exp \left[ 1 + \frac{E}{kT} \frac{T - T_m}{T_m} - \frac{T^2}{T_m^2} \cdot \exp \left( \frac{E}{kT} \frac{T - T_m}{T_m} \right) (1 - \Delta) - \Delta_m \right], \quad (1)$$

где  $T_m$  – температура на максимуме пика,  $I_m$  – интенсивность на максимуме пика,  $E$  – энергия активации,  $k$  – постоянная Больцмана,  $\Delta = 2kT / E$ ,  $\Delta_m = 2kT_m / E_m$ . Частотный фактор  $s$  вычислялся по формуле (2):

$$s = \frac{\beta E}{kT_m^2} \frac{1}{Z_m} \exp\left(\frac{E}{kT_m}\right) \quad (2)$$

где  $\beta$  – скорость нагрева.

Для оценки погрешности аппроксимации использовалась величина FOM (Figure of Merit) [16], вычисляемая по формуле (3):

$$FOM = \frac{\sum_T |I_{\text{exp}}(T) - I_{\text{app}}(T)|}{\sum_T I_{\text{exp}}(T)} \times 100\%, \quad (3)$$

где  $I_{\text{exp}}$  – экспериментальные значения интенсивности,  $I_{\text{app}}$  – значения интенсивности, полученные при аппроксимации. Принято, что при значениях FOM в интервале 0-2,5% аппроксимация считается хорошей, 2,5-3,5% – удовлетворительной, но с некоторым разбросом значений, и  $FOM > 3,5\%$  – не удовлетворительной. Все выполненные аппроксимации в рамках данной работы были в пределах допустимого значения FOM до 3,5%.

Следует отметить, что ТСЛ также зависит от условий эксперимента: на какой установке, в какой атмосфере, с какой скоростью производился нагрев, на какой подложке располагался кристалл во время нагрева, как измерялась температура и т.д. В зависимости от этих условий мы можем получать кривые ТСЛ с пиками, смещенными на некоторую величину как в высокотемпературную, так и низкотемпературную стороны температурной шкалы. Интенсивности пиков ТСЛ зависят от площади/объема нагреваемого кристалла.

**Результаты и обсуждение.** На рисунке 1 представлена кривая ТСЛ монокристалла MgO, облученного ионами Xe<sup>132</sup> до флюенса 10<sup>13</sup> ион/см<sup>2</sup>. Как видно из рисунка, облученный ионами MgO имеет структурную ТСЛ в интервале 400-800 К, состоящую из нескольких пиков свечения. На рисунке также представлена аппроксимация данной кривой ТСЛ посредством кривых первого порядка кинетики. Параметры пиков ТСЛ представлены в таблице 1.

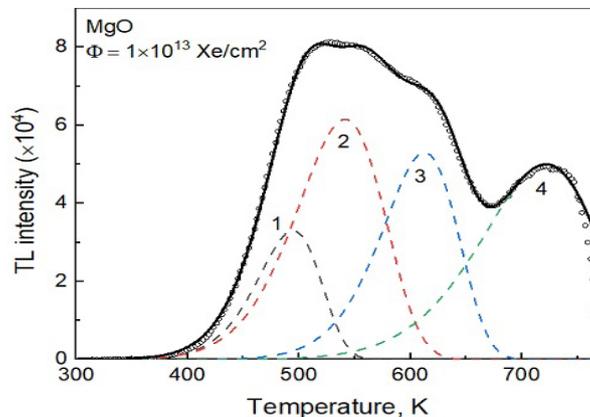


Рисунок 1 – Кривая ТСЛ кристалла MgO, облученного при 295 К ионами Xe<sup>132</sup> с флюенсом 10<sup>13</sup> ион/см<sup>2</sup>

Таблица 1 - Кинетические параметры пиков ТСЛ (MgO,  $\Phi = 10^{13}$  Xe/см<sup>2</sup>)

Параметр	Пик 1	Пик 2	Пик 3	Пик 4
Температура на максимуме пика $T_m$ , К	494	540	612	720
Энергия активации $E$ , эВ	0,7	0,6	0,9	0,8
Порядок кинетики $b$	1	1	1	1
Частотный фактор $P_0$	$9,2 \cdot 10^5$	$1,9 \cdot 10^4$	$1,44 \cdot 10^6$	$1,42 \cdot 10^4$

MgO демонстрирует комплексную термолюминесценцию. При облучении кристалла MgO высокоэнергетическими ионами, за счет ударного (доминантного в данном материале) и неударного механизмов, связанного с распадом электронных возбуждений, в нем создаются радиационные дефекты как в анионной, так и в катионной подрешетке. Созданный анионный интерстициал (ион кислорода в междоузлии) может быть захвачен вблизи катионной вакансии с образованием Н центра

–  $O_2^-$  молекулы. Пик ТСЛ около 720 К можно связать с термическим разрушением Н центров. При разрушении данного центра высвобождается анионный интерстициал, который в последующем излучательно рекомбинирует с  $F^+$  центром, наличие которого в большой концентрации доказано во многих работах [3].

$CaF_2$  демонстрирует интенсивную ТСЛ с явно выделяющимися пиками. На рисунке 2 представлена кривая ТСЛ образца  $CaF_2$ , облученного при комнатной температуре ионами  $Xe^{132}$  с флюенсом  $5 \cdot 10^{13}$  ион/см<sup>2</sup>. ТСЛ имеет интенсивный пик с максимумом при 575 К. Как показано в [11], основная стадия отжига центров окраски в облученном в аналогичных условиях кристалле  $CaF_2$  происходит до температуры примерно 560 К. Данная кривая ТСЛ была аппроксимирована с применением функций первого порядка кинетики. Так как в  $CaF_2$  при комнатной температуре одиночные электронные центры крайне нестабильны и находятся в основном в агрегированном состоянии, то разрушение дефектов с повышением температуры предположительно происходит за счёт высвобождения и миграции дырочных центров. В спектрах радиационно-индуцированного оптического поглощения около 6,5 эВ поглощают  $F_3^-$  квазимолекулы, диссоциация которых на  $V_k$  и Н центры начинается при температуре 430 К. последние дырочные центры крайне подвижны уже при комнатной температуре, т.е. происходит высвобождение дырки, которая мигрируя по кристаллу, встретив электронный центр, излучательно рекомбинирует с ним.

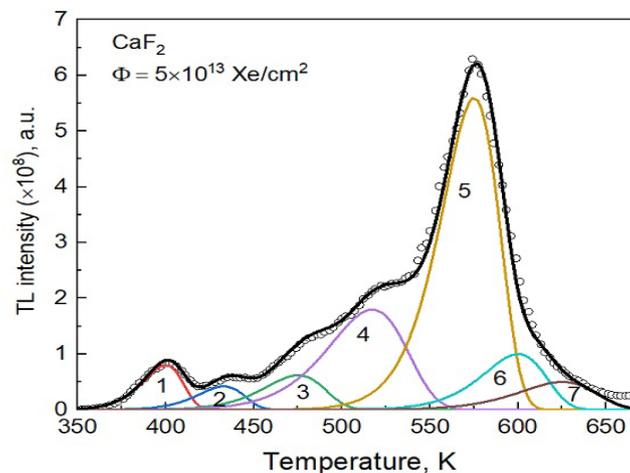


Рисунок 2 – Кривая ТСЛ кристалла  $CaF_2$ , облученного при 295 К ионами  $Xe^{132}$  с флюенсом  $5 \cdot 10^{13}$  ион/см<sup>2</sup>

В таблице 2 приведены параметры отдельных пиков, вычисленные посредством аппроксимации кривой ТСЛ функциями первого порядка кинетики. Как видно из таблицы, наибольшие значения энергии активации имеют высокотемпературные пики 5, 6 и 7, где согласно [11] и происходит основная стадия разрушения радиационно-индуцированных структурных дефектов и восстановление регулярной решетки. Следует предположить, что данные пики ТСЛ ответственны за распад крупных агрегатных центров F типа (F центр – анионная вакансия с захваченным электроном). Низкотемпературные пики ТСЛ с меньшей энергией активации должны быть связаны с высвобождением дырок.

Таблица 2 - Кинетические параметры пиков ТСЛ ( $CaF_2$ ,  $\Phi = 5 \cdot 10^{13}$  Xe/см<sup>2</sup>)

Параметр	Пик 1	Пик 2	Пик 3	Пик 4	Пик 5	Пик 6	Пик 7
Температура на максимуме пика $T_m$ , К	400	433	475	517	575	600	625
Энергия активации E, эВ	1,2	1,2	1,1	1	1,7	1,7	1,5
Порядок кинетики b	1	1	1	1	1	1	1
Частотный фактор $P_0$	$2,3 \cdot 10^{14}$	$1,38 \cdot 10^{13}$	$5,3 \cdot 10^{10}$	$4,86 \cdot 10^8$	$9,48 \cdot 10^{13}$	$2,1 \cdot 10^{13}$	$1,1 \cdot 10^{11}$

На рисунке 3 представлены спектры излучения, измеренные в интервале температур от 340 до 630 К для кристалла  $CaF_2$ , облученного ионами  $Xe^{132}$  с флюенсом  $5 \cdot 10^{13}$  ион/см<sup>2</sup>. Корреляция между спектром излучения термолюминесценции и отдельными пиками ТСЛ является важным для объяснения механизма ТСЛ. Спектры излучения измерялись CCD детектором в процессе линейного нагрева кристалла со скоростью 10 К/мин. На данных спектрах можно выделить 8 полос свечения с разными интенсивностями, а именно при 2.1, 2.2, 2.24, 2.31, 2.36, 2.64, 2.91 и 2.94 эВ. Температурные зависимости интенсивности полос свечения при данных энергиях представлены на рисунках 4 и 5.

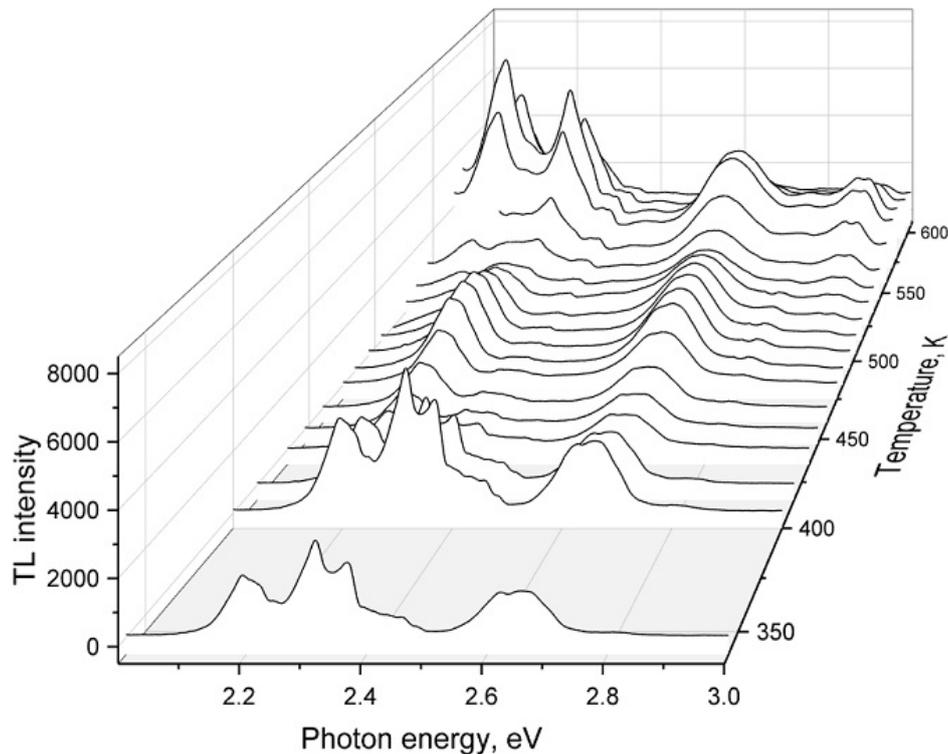


Рисунок 3 – Спектры термолюминесценции, измеренные в промежутке температур 340-630 К для ионно-облученного кристалла  $\text{CaF}_2$  ( $\Phi = 5 \cdot 10^{13} \text{ Xe/cm}^2$ )

Спектральный состав 1-го пика ТСЛ при 400 К состоит из полос свечения при 2.2, 2.24, 2.31, 2.36 и 2.64 эВ. из рисунка 3 видно, что все эти полосы свечения начинают усиливаться с ростом температуры приблизительно до 405 К, далее мы наблюдаем ослабление свечений указанных энергий. Полосы 2.2, 2.24 и 2.64 эВ также входят в спектральный состав пиков ТСЛ в интервале температур 430-540 К, которые слабо заметны на фоне интенсивного пика при 575 К (рисунок 1). Интенсивности данных полос сначала растут при нагреве примерно до 480 К, а затем спадают с дальнейшим ростом температуры. Полоса при 2.64 эВ имеет дублетную структуру. Как видно, в данной температурной области практически отсутствуют свечения при 2.1, 2.31, 2.36, 2.91 и 2.94 эВ.

Спектральный состав наиболее интенсивного пика ТСЛ при 575 К состоит из всех выше перечисленных восьми полос свечения. Наибольший вклад дают центры, светящие около 2.1 и 2.24 эВ. Близкое расположение полос свечения 2.91 и 2.94 эВ и их одинаковая зависимость от температуры, предполагает принадлежность одному примесному центру. При нагреве в данном интервале температур также проявляется структурированность полосы 2.2 эВ, что подтверждается ростом интенсивности полосы 2.24 эВ.

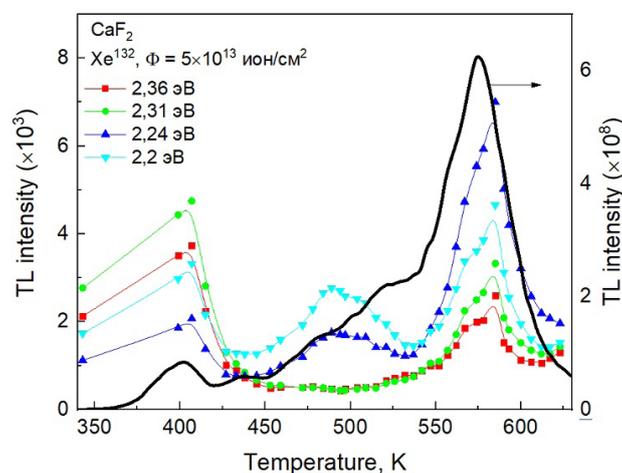


Рисунок 4 – Температурная зависимость полос свечения 2.2, 2.24, 2.31 и 2.36 эВ и кривая ТСЛ (правая шкала) в облученных ионами  $\text{Xe}^{132}$  кристаллах  $\text{CaF}_2$

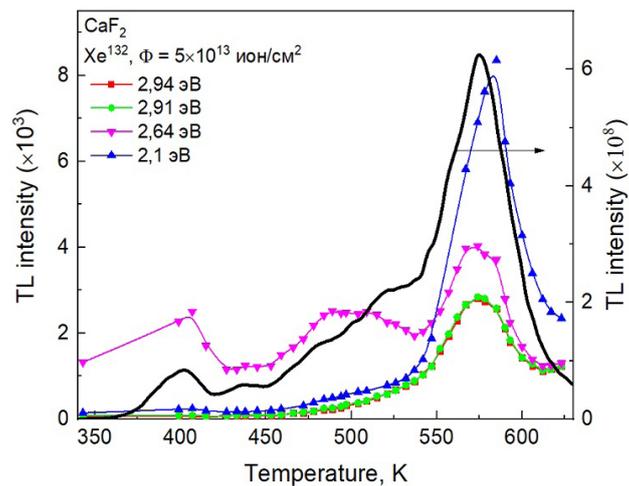


Рисунок 5 – Температурная зависимость полос свечения 2.1, 2.64, 2.91 и 2.94 эВ и кривая ТСЛ (правая шкала) в облученных ионами  $\text{Xe}^{132}$  кристаллах  $\text{CaF}_2$

Как известно, в  $\text{CaF}_2$  всегда присутствуют следы примесей редкоземельных ионов (РЗИ), которые могут действовать в качестве электронных и дырочных ловушек и/или люминесцентных центров. Кривые и спектры ТСЛ являются результатами одного и того же процесса. В то же время, положения пиков ТСЛ не зависят от состава примесей, тогда как спектр излучения пика ТСЛ является характеристикой примесных ионов. Это наглядно проявляется в ионно-облученных  $\text{CaF}_2$  с разной концентрацией примесей, особенно в низкотемпературной области, где примесные центры все еще стабильны, а ТСЛ возникает за счет разрушения дырочных центров или собственных электронных центров. В облученных рентгеновскими лучами образцах, где облучение в основном вызывает перезарядку дефектов, ТСЛ напрямую зависит от примесного состава кристалла, и образцы с разным примесным составом могут демонстрировать совершенно разные кривые ТСЛ.

Итак, три полосы свечения регистрируются только в высокотемпературном ТСЛ, около 575 К. Как известно, многие центры свечения, в качестве которых могут выступать РЗИ, становятся нестабильными при достижении таких температур. Большинство РЗИ присутствуют в  $\text{CaF}_2$  в трех- или двухвалентном состоянии и являются электронными ловушками. При облучении данные центры, захватывая электроны, понижают свою валентность. Нагрев кристалла выше 500 К освобождает электроны из данных ловушек и, таким образом, делает возможной их рекомбинацию со все еще локализованными дырками, а также с уже подвижными дырками в регулярных узлах решетки или около других центров свечения.

Узкие полосы в спектре ТСЛ принадлежат РЗИ. РЗИ<sup>3+</sup> заменяют в кристалле ионы  $\text{Ca}^{2+}$ , а зарядовая компенсация происходит за счет междоузельного иона  $\text{F}^-$  или примесного  $\text{O}^{2-}$  иона. Облучение конвертирует РЗИ<sup>3+</sup> в РЗИ<sup>2+</sup> и формируются  $V_k$ -центры. Во время нагрева  $V_k$ -центр высвобождает дырку, которая рекомбинирует с электроном у РЗИ<sup>2+</sup>, что приводит к излучению характерной широкой полосы, а РЗИ<sup>3+</sup>, релаксируя из возбужденного состояния в основное, создает излучение подобное излучению свободных ионов, что также связано с экранированием валентной зоны лантаноидов.

Таким образом, ТСЛ может возникать из-за рекомбинации 1) освобожденных дырок со все еще захваченными электронами, 2) освобожденных электронов с захваченными дырками и 3) термически освобожденных электронов и дырок в подходящих центрах свечения. В первых двух случаях соответствующие ловушки могут иметь локальный характер (вблизи рекомбинационных центров). Аналогичным образом, когда и электроны, и дырки свободны (перемещаются в зоне проводимости и валентной зоне, соответственно), становится возможной их рекомбинация в подходящих позициях (дефекты, вакансии или интерстициалы), которая, возможно, и ответственна за высокотемпературные пики ТСЛ.

**Заключение.** В работе были представлены результаты исследования термостимулированной люминесценции кристаллов  $\text{MgO}$  и  $\text{CaF}_2$ , облученных высокоэнергетическими ионами  $\text{Xe}^{132}$  с энергией иона 230 МэВ. Кривые ТСЛ для обоих кристаллов имеют структурный характер, состоят из нескольких элементарных пиков. Методом аппроксимации были выделены отдельные пики ТСЛ. Для  $\text{MgO}$  были получены 4 пика, для которых вычислены кинетические параметры. Высокотемпературный пик около 720 К можно связать с термическим разрушением Н центров. Для  $\text{CaF}_2$  кривая ТСЛ также

была аппроксимирована с целью выявления отдельных пиков. В результате были получены 7 пиков ТСЛ. Наиболее интенсивный пик приходится на 575 К, который связан с разрушением крупных агрегатных дефектных центров. Для ионно-облученного кристалла  $\text{CaF}_2$  были изучены спектры ТСЛ и сопоставлены с отдельными пиками ТСЛ. Очевидно, что примеси РЗИ, присутствующие в  $\text{CaF}_2$  в качестве следов, и определяют спектральный состав пиков ТСЛ. Результаты показывают, что кривая ТСЛ не зависит от отдельных примесных ионов в кристалле, тогда как спектр ТСЛ является характеристикой примесных ионов. Таким образом, в номинально чистых  $\text{CaF}_2$  ТСЛ происходит из-за следов примесей в кристаллах. В таких кристаллах в зависимости от природы кристалла, условий выращивания, скорости нагрева и других факторов различными исследователями наблюдались явно несовпадающие кривые ТСЛ.

***Благодарности.** Данное исследование финансировалось Комитетом науки Министерства образования и науки Республики Казахстан (грант № AP09562859).*

#### **Information about the authors:**

**Ruslan Namysovich Asylbayev** – PhD in the specialty 6D060400-Physics, Associate professor of the Higher School of Natural Sciences of Pavlodar Pedagogical University, Pavlodar, Republic of Kazakhstan; <https://orcid.org/0000-0003-0049-5093>; E-mail: [ruslanassylbay@yandex.ru](mailto:ruslanassylbay@yandex.ru); tel.: +7 771 559 32 82;

**Baubekova Guldur Musayevna** – PhD 6D072300-Technical physics, senior lecturer of the Department of Technical physics, Eurasian national University named after L.N. Gumilev, the city of Nur-Sultan, Republic of Kazakhstan; <https://orcid.org/0000-0003-0662-428X>; E-mail: [guldar\\_87@mail.ru](mailto:guldar_87@mail.ru);

**Anueva Elmira Sighisoara** – PhD doctoral candidate in the educational program of 8D01520-Physics of Pavlodar pedagogical University, Pavlodar, Kazakhstan; e-mail: [elmiraanaeva@mail.ru](mailto:elmiraanaeva@mail.ru).

#### **ЛИТЕРАТУРА**

- [1] A. Lushchik et al., “On the mechanisms of radiation damage and prospects of their suppression in complex metal oxides,” *Phys. status solidi*, vol. 250, no. 2, pp. 261–270, Feb. 2013, doi: 10.1002/PSSB.201200488.
- [2] E. Feldbach, E. Töldsepp, M. Kirm, A. Lushchik, K. Mizohata, and J. Räisänen, “Radiation resistance diagnostics of wide-gap optical materials,” *Opt. Mater. (Amst.)*, vol. 55, pp. 164–167, May 2016, doi: 10.1016/J.OPTMAT.2016.03.008.
- [3] G. Baubekova et al., “Accumulation of radiation defects and modification of micromechanical properties under MgO crystal irradiation with swift  $^{132}\text{Xe}$  ions,” *Nucl. Instruments Methods Phys. Res. Sect. B Beam Interact. with Mater. Atoms*, vol. 463, pp. 50–54, Jan. 2020, doi: 10.1016/J.NIMB.2019.11.021.
- [4] G. Baubekova et al., “Thermal annealing of radiation damage produced by swift  $^{132}\text{Xe}$  ions in MgO single crystals,” *Nucl. Instruments Methods Phys. Res. Sect. B Beam Interact. with Mater. Atoms*, vol. 462, pp. 163–168, Jan. 2020, doi: 10.1016/J.NIMB.2019.11.013.
- [5] S.A. Dolgov, T. Kärner, A. Lushchik, A. Maaros, S. Nakonechnyi, and E. Shablonin, “Trapped-hole centers in MgO single crystals,” *Phys. Solid State* 2011 536, vol. 53, no. 6, pp. 1244–1252, Jun. 2011, doi: 10.1134/S1063783411060084.
- [6] Г.М. Баубекова, А.Ч. Лущик, Асылбаев Р.Н., and Акылбеков А.Т., “Создание радиационных дефектов в кристаллах MgO, облученных высокоэнергетическими ионами,” *Вестник Евразийского национального университета имени Л.Н. Гумилева*, vol. 128, no. 3, pp. 41–49, 2019.
- [7] C. Pandurangappa, B.N. Lakshminarasappa, F. Singh, and K.R. Nagabhushana, “Optical absorption and thermoluminescence studies in 100MeV swift heavy ion irradiated  $\text{CaF}_2$  crystals,” *Nucl. Instruments Methods Phys. Res. Sect. B Beam Interact. with Mater. Atoms*, vol. 269, no. 2, pp. 185–188, Jan. 2011, doi: 10.1016/j.nimb.2010.10.022.
- [8] M. Toulemonde et al., “Dense and nanometric electronic excitations induced by swift heavy ions in an ionic  $\text{CaF}_2$  crystal: Evidence for two thresholds of damage creation,” *Phys. Rev. B*, vol. 85, no. 5, p. 054112, Feb. 2012, doi: 10.1103/PhysRevB.85.054112.
- [9] H. Amekura, R. Li, N. Okubo, N. Ishikawa, and F. Chen, “Swift heavy ion irradiation to non-amorphizable  $\text{CaF}_2$  and amorphizable  $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$  (YAG) crystals,” *Nucl. Instruments Methods Phys. Res. Sect. B Beam Interact. with Mater. Atoms*, vol. 474, pp. 78–82, Jul. 2020, doi: 10.1016/j.nimb.2020.04.023.
- [10] R. Assylbayev, A. Akilbekov, A. Dauletbekova, A. Lushchik, E. Shablonin, and E. Vasil’chenko, “Radiation damage caused by swift heavy ions in  $\text{CaF}_2$  single crystals,” *Radiat. Meas.*, vol. 90, pp. 18–22, Jul. 2016, doi: 10.1016/J.RADMEAS.2015.12.034.

- [11] R. Assylbayev et al., “Structural defects caused by swift ions in fluorite single crystals,” *Opt. Mater. (Amst.)*, vol. 75, pp. 196–203, Jan. 2018, doi: 10.1016/J.OPTMAT.2017.10.026.
- [12] M.S. Bhadane et al., “Structural, morphological, thermal and dosimetric properties of CaF<sub>2</sub>:Dy nanophosphor for 100 keV Cu<sup>+</sup> ion irradiation,” 2017, p. 050124, doi: 10.1063/1.4980357.
- [13] S. Dolgov, T. Kärner, A. Lushchik, A. Maaros, N. Mironova-Ulmane, and S. Nakonechnyi, “Thermoluminescence Centres Created Selectively in MgO Crystals by Fast Neutrons,” *Radiat. Prot. Dosimetry*, vol. 100, no. 1–4, pp. 127–130, Jul. 2002, doi: 10.1093/OXFORDJOURNALS.RPD.A005828.
- [14] Р.Н. Асылбаев, Г.М. Баубекова, and М.В. Здоровец, “Термостимулированная люминесценция кристаллов CaF<sub>2</sub>, облученных быстрыми тяжелыми ионами,” *Вестник ЕНУ им. Л.Н. Гумилева*, vol. 111, no. 2, pp. 320–325, 2016.
- [15] V. Kiisk, “Deconvolution and simulation of thermoluminescence glow curves with Mathcad,” *Radiat. Prot. Dosimetry*, vol. 156, no. 3, pp. 261–267, Sep. 2013, doi: 10.1093/rpd/nct072.
- [16] J. Peng, G. Kitis, A.M. Sadek, E.C. Karsu Asal, and Z. Li, “Thermoluminescence glow-curve deconvolution using analytical expressions: A unified presentation,” *Appl. Radiat. Isot.*, vol. 168, p. 109440, Feb. 2021, doi: 10.1016/j.apradiso.2020.109440.

## REFERENCES

- [1] A. Lushchik et al., “On the mechanisms of radiation damage and prospects of their suppression in complex metal oxides,” *Phys. status solidi*, vol. 250, no. 2, pp. 261–270, Feb. 2013, doi: 10.1002/PSSB.201200488.
- [2] E. Feldbach, E. Töldsepp, M. Kirm, A. Lushchik, K. Mizohata, and J. Räisänen, “Radiation resistance diagnostics of wide-gap optical materials,” *Opt. Mater. (Amst.)*, vol. 55, pp. 164–167, May 2016, doi: 10.1016/J.OPTMAT.2016.03.008.
- [3] G. Baubekova et al., “Accumulation of radiation defects and modification of micromechanical properties under MgO crystal irradiation with swift <sup>132</sup>Xe ions,” *Nucl. Instruments Methods Phys. Res. Sect. B Beam Interact. with Mater. Atoms*, vol. 463, pp. 50–54, Jan. 2020, doi: 10.1016/J.NIMB.2019.11.021.
- [4] G. Baubekova et al., “Thermal annealing of radiation damage produced by swift <sup>132</sup>Xe ions in MgO single crystals,” *Nucl. Instruments Methods Phys. Res. Sect. B Beam Interact. with Mater. Atoms*, vol. 462, pp. 163–168, Jan. 2020, doi: 10.1016/J.NIMB.2019.11.013.
- [5] S.A. Dolgov, T. Kärner, A. Lushchik, A. Maaros, S. Nakonechnyi, and E. Shablonin, “Trapped-hole centers in MgO single crystals,” *Phys. Solid State* 2011 536, vol. 53, no. 6, pp. 1244–1252, Jun. 2011, doi: 10.1134/S1063783411060084.
- [6] G.M. Baubekova, A. Ch. Lushchik, Assylbayev R.N., and Akylbekov A.T., “Creation of radiation defects in MgO crystals irradiated with high-energy ions”” *Bulletin of the L.N. Gumilev Eurasian National University*, vol. 128, No. 3, pp. 41-49, 2019 (in Russian).
- [7] C. Pandurangappa, B.N. Lakshminarasappa, F. Singh, and K.R. Nagabhushana, “Optical absorption and thermoluminescence studies in 100MeV swift heavy ion irradiated CaF<sub>2</sub> crystals,” *Nucl. Instruments Methods Phys. Res. Sect. B Beam Interact. with Mater. Atoms*, vol. 269, no. 2, pp. 185–188, Jan. 2011, doi: 10.1016/j.nimb.2010.10.022.
- [8] M. Toulemonde et al., “Dense and nanometric electronic excitations induced by swift heavy ions in an ionic CaF<sub>2</sub> crystal: Evidence for two thresholds of damage creation,” *Phys. Rev. B*, vol. 85, no. 5, p. 054112, Feb. 2012, doi: 10.1103/PhysRevB.85.054112.
- [9] H. Amekura, R. Li, N. Okubo, N. Ishikawa, and F. Chen, “Swift heavy ion irradiation to non-amorphizable CaF<sub>2</sub> and amorphizable Y<sub>3</sub>Al<sub>5</sub>O<sub>12</sub> (YAG) crystals,” *Nucl. Instruments Methods Phys. Res. Sect. B Beam Interact. with Mater. Atoms*, vol. 474, pp. 78–82, Jul. 2020, doi: 10.1016/j.nimb.2020.04.023.
- [10] R. Assylbayev, A. Akilbekov, A. Dauletbekova, A. Lushchik, E. Shablonin, and E. Vasil’chenko, “Radiation damage caused by swift heavy ions in CaF<sub>2</sub> single crystals,” *Radiat. Meas.*, vol. 90, pp. 18–22, Jul. 2016, doi: 10.1016/J.RADMEAS.2015.12.034.
- [11] R. Assylbayev et al., “Structural defects caused by swift ions in fluorite single crystals,” *Opt. Mater. (Amst.)*, vol. 75, pp. 196–203, Jan. 2018, doi: 10.1016/J.OPTMAT.2017.10.026.
- [12] M.S. Bhadane et al., “Structural, morphological, thermal and dosimetric properties of CaF<sub>2</sub>:Dy nanophosphor for 100 keV Cu<sup>+</sup> ion irradiation,” 2017, p. 050124, doi: 10.1063/1.4980357.
- [13] S. Dolgov, T. Kärner, A. Lushchik, A. Maaros, N. Mironova-Ulmane, and S. Nakonechnyi, “Thermoluminescence Centres Created Selectively in MgO Crystals by Fast Neutrons,” *Radiat. Prot. Dosimetry*, vol. 100, no. 1–4, pp. 127–130, Jul. 2002, doi: 10.1093/OXFORDJOURNALS.RPD.A005828.

[14] R.N. Assylbayev, G.M. Baubekova, and M.V. Zdorovets“ “Thermostimulated luminescence of CaF<sub>2</sub> crystals irradiated with fast heavy ions,” Bulletin of L.N. Gumilyov ENU, vol. 111, No. 2, pp. 320-325, 2016 (in Russian).

[15] V. Kiisk, “Deconvolution and simulation of thermoluminescence glow curves with Mathcad,” Radiat. Prot. Dosimetry, vol. 156, no. 3, pp. 261–267, Sep. 2013, doi: 10.1093/rpd/nct072.

[16] J. Peng, G. Kitis, A.M. Sadek, E.C. Karsu Asal, and Z. Li, “Thermoluminescence glow-curve deconvolution using analytical expressions: A unified presentation,” Appl. Radiat. Isot., vol. 168, p. 109440, Feb. 2021, doi: 10.1016/j.apradiso.2020.109440.

REPORTS OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES  
OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN  
ISSN 2224-5227

Volume 1, Number 341 (2022), 64-71

<https://doi.org/10.32014/2022.2518-1483.134>

UDC66.011  
IRSTI87.35.91

**Z.I. Jamalova<sup>1</sup>, B.M. Kaldybayeva<sup>1\*</sup>, S.A. Boldyryev<sup>2</sup>, D.M. Kenzhebekov<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>M. Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan;

<sup>2</sup>National Research Tomsk Polytechnic University, Research School of Chemical and Biomedical Technologies, Tomsk, Russia.  
E-mail: kaldybaeva.b@mail.ru

**METHODOLOGY FOR BUILDING MODELS AND OPTIMIZING TECHNOLOGICAL PROCESSES USING P-GRAPH SOFTWARE**

**Abstract.** The work is aimed at developing a methodology for assessing and optimizing the flows of basic resources at the regional level, in terms of minimizing the load on both the resource base and the environment. The objects of production / consumption of resources in the region that should be taken into account include end users (local residents), municipal users, as well as enterprises of industries with significant resource saving potential: metallurgy, chemical industry, production of building materials, mechanical engineering, petrochemicals, paper production, textile industry and so on. The purpose of the work is to find a fundamental compromise between expanding opportunities and increasing losses with closer joint use of basic resources, taking into account the desire to minimize anthropogenic impact on the environment. The proposed approach, based on a joint numerical analysis of resource flows, can be generalized to the case of complex management of other resources (raw materials, etc.). Environmental impacts are quantified by assessing the environmental footprint of issuers. The method provides for the possibility of adding additional necessary aspects of environmental impact in order to ensure its application for a wider range of practical problems. Assessment of resource efficiency and the level of environmental impact is carried out based on the analysis of the life cycle after determining the spatial boundaries and stages of the evolution of the system. An algorithm has been developed for controlling the heat and water supply of the region for the optimal combination of production / consumption of energy and water, both within clusters (districts) and at the level of inter-cluster interaction, minimizing residual resource imbalances and long-term impact on the environment.

**Key words:** optimization of resource use, process integration, energy efficiency, resource conservation, systems analysis, circular economy, digital transformation, sustainable development.

**З.И. Джамалова<sup>1</sup>, Б.М. Калдыбаева<sup>1\*</sup>, С.А. Болдырев<sup>2</sup>, Д.М. Кенжебеков<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>М. Ауезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Шымкент, Қазақстан;

<sup>2</sup>Томск политехникалық Ұлттық зерттеу университеті, Химиялық және биомедициналық технологиялар ғылыми мектебі, Томск, Ресей.  
E-mail: kaldybaeva.b@mail.ru

**P-GRAPH ПРОГРАММАСЫН ҚОЛДАНУҮШІН МОДЕЛДЕР ҚҰРУ ЖӘНЕ ТЕХНОЛОГИЯЛЫҚ ПРОЦЕССТЕРДІ ОҢТАЙЛАНДЫРУ ӘДІСТЕМЕСІ**

**Аннотация.** Жұмыс ресурстық базаға да, қоршаған ортаға да жүктемені барынша азайту тұрғысынан аймақтық деңгейдегі негізгі ресурстар ағындарын бағалау мен оңтайландыру әдістемесін әзірлеуге бағытталған. Аймақтағы ресурстарды өндіру / тұтыну объектілеріне соңғы пайдаланушылар (жергілікті тұрғындар), муниципалды пайдаланушылар, сондай -ақ ресурстарды үнемдейтін әлеуеті бар салалардың кәсіпорындары жатады: металлургия, химия өнеркәсібі, құрылыс материалдары өндірісі, машина жасау, мұнай химиясы, қағаз өндірісі, тоқыма өнеркәсібі және т.б. Жұмыстың мақсаты - қоршаған ортаға антропогендік әсерді барынша азайтуға деген ұмтылысты ескере отырып,

мүмкіндіктерді кеңейту мен негізгі ресурстарды бірігіп пайдалану арқылы шығындарды ұлғайту арасындағы түбегейлі ымыраға келу. Ресурстар ағынының бірлескен сандық талдауына негізделген ұсынылған тәсілді басқа ресурстарды (шикізат және т.б.) кешенді басқару жағдайына жалпылауға болады. Қоршаған ортаға әсер ету эмитенттердің экологиялық ізін бағалау арқылы анықталады. Бұл әдіс қоршаған ортаға әсер етудің қосымша қажетті аспектілерін оның практикалық мәселелердің кең ауқымында қолданылуын қамтамасыз ету үшін қосу мүмкіндігін қарастырады. Ресурстардың тиімділігі мен қоршаған ортаға әсер ету деңгейін бағалау жүйенің кеңістіктік шекаралары мен даму кезеңдерін анықтағаннан кейін өмірлік циклді талдау негізінде жүзеге асырылады. Кластерлерде (аудандарда) да, кластераралық өзара әрекеттесу деңгейінде де энергия мен суды өндірудің / тұтынудың оңтайлы үйлесуі үшін ресурстардың қалдық теңгерімсіздігін барынша азайту үшін облыстың жылу және сумен жабдықтауды басқару алгоритмі әзірленді. -қоршаған ортаға әсер ету мерзімі.

**Түйін сөздер:** ресурстарды пайдалануды оңтайландыру, процестерді біріктіру, энергия тиімділігі, ресурстарды үнемдеу, жүйелерді талдау, айналмалы экономика, цифрлық трансформация, тұрақты даму.

**З.И. Джамалова<sup>1</sup>, Б.М. Калдыбаева<sup>1\*</sup>, С.А. Болдырев<sup>2</sup>, Д.М. Кенжебеков<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Южно-Казахстанский университет им. М. Ауезова, Шымкент, Казахстан;

<sup>2</sup>Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Научная школа химических и биомедицинских технологии, Томск, Россия.

E-mail: kaldybaeva.b@mail.ru

## **МЕТОДОЛОГИЯ ПОСТРОЕНИЯ МОДЕЛЕЙ И ОПТИМИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ P-GRAPH**

**Аннотация.** Работа направлена на разработку методологии оценки и оптимизации потоков основных ресурсов на региональном уровне, с точки зрения минимизации нагрузки, как на ресурсную базу, так и окружающую среду. К объектам производства/потребления ресурсов в регионе, которые следует учитывать, относятся конечные потребители (местные жители), муниципальные пользователи, а также предприятия отраслей со значительным потенциалом ресурсосбережения: металлургия, химическая промышленность, производство строительных материалов, машиностроение, нефтехимия, производство бумаги, текстильная промышленность и так далее. Цель работы – заключается в поиске фундаментального компромисса между расширением возможностей и увеличением потерь при более тесном совместном использовании основных ресурсов, с учетом стремления к минимизации антропогенного влияния на окружающую среду. Предлагаемый подход, основанный на совместном численном анализе ресурсных потоков, может быть обобщен на случай комплексного управления другими ресурсами (сырьевыми и т.п.). Воздействие на окружающую среду количественно определяется путем оценки экологических следов эмитентов. Метод предусматривает возможность добавления дополнительных необходимых аспектов воздействия на окружающую среду, чтобы обеспечить его применение для более широкого спектра практических задач. Оценка эффективности ресурсов и уровень воздействия на окружающую среду выполняется на основе анализа жизненного цикла после определения пространственных границ и этапов эволюции системы. Разработан алгоритм управления тепло-водоснабжением региона для оптимального сочетания объектов производства/потребления энергии и воды как внутри кластеров (районов), так и на уровне меж кластерного взаимодействия, минимизации остаточных дисбалансов ресурсов и долгосрочного воздействия на окружающую среду.

**Ключевые слова:** оптимизация использования ресурсов, интеграция процессов, энергоэффективность, ресурсосбережение, системный анализ, экономика замкнутого цикла, цифровая трансформация, устойчивое развитие.

**Introduction.** One of the most important problems of modern society is the irrational use of energy resources. The constant increase in the use of fossil energy sources has led to one of the most important problems of the 21st century. - global warming [1]. Despite the constant increase in the share of renewable energy sources (RES) in the energy sector [2], this problem continues to be relevant [3]. This is partly due to the inefficient use of energy and water resources in the manufacturing sector [4]. The study [5] proposes the integration of calcium recycling into the lime production cycle at a pulp and paper mill. This reduces CO2 emissions from waste heat boilers and biomass power boilers [6].

The approach to designing an optimal and environmentally friendly energy system with decentralized energy generation for the municipal level is considered in the study [7]. The approach is to apply the clustering method together with the energy system modeling and cost optimization method. The main problem in the existing systems of distribution of energy resources between generating capacities and consumers is an ineffective system of distribution of flows between sources and their consumers [8,9]. To solve this issue, a visual diagram was designed for the distribution of heat energy and hot water to the consumer network, which was implemented in the P-graph environment program. To optimize the creation or operation of cogeneration and trigeneration systems, both exergy analysis [10] and mathematical programming methods [11] are used. For example, for the synthesis of optimal cogeneration and trigeneration systems, scientists [12] use fuzzy P-Graph. This allows to increase the economic efficiency of the developed systems in comparison with the use of MILP or P-Graph models.

To maximize the potential for the use of resources (raw materials, energy, water), inter-production integration is necessary. Utilization of low-grade heat by reducing primary energy consumption is a promising way to reduce the ecological footprint of enterprises [13-15]. For example, in the study [16], it is proposed to use a power plant, which makes it possible to comprehensively utilize waste from oil and gas enterprises. However, a common methodology is needed to maximize the potential for energy efficiency improvements in territorial production complexes. This methodology is Total Site Integration [17]. This methodology has been used in the oil refining [18], petrochemical [19], cement [20] industries.

**Materials and research methods.** Drag and Drop Material. As an example of sources of heat energy and hot water for the scheme, 4 boiler houses and 1 CHP and 4 consumers of these resources were given.

To describe the sources of «resources / materials», the operator «Drag and Drop Material» is set graphically, the graphic image and the main characteristics of which are shown in Figure 1. It should be noted that various physical parameters are used as «resources / materials» in this scheme, such as energy, consumption, volume, power, etc., which will be discussed below. The main parameters to be set are the name of the element (Name), the price per unit (Price), the required material consumption (Req.Flow) per unit of time, the maximum flow through this element per year (Max.Flow) is set by analogy with Req. Flow.

The type of resource / material (Quantity Type) is set in the window Object Properties → Parameters. In the pop-up window opposite the Quantity Type, select the required resource. P-graph allows you to operate with volumetric, quantitative energy costs.

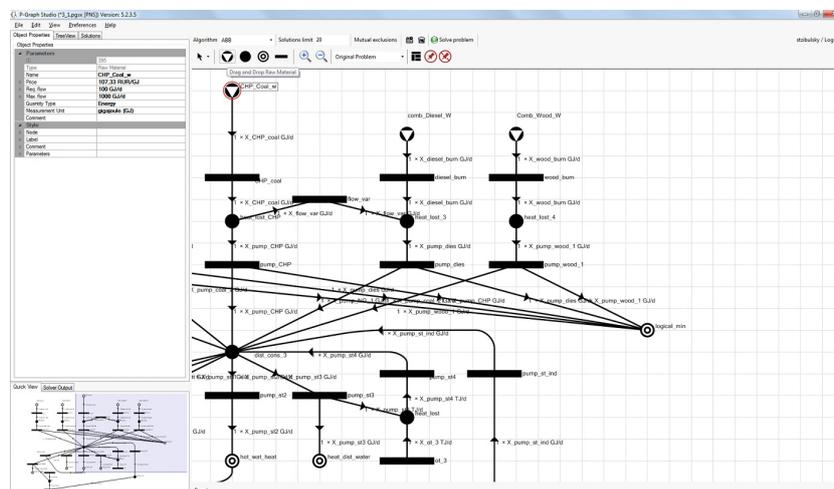


Figure 1 - Operator for source material

This object describes the quantity and cost of the product obtained at the source. In our case, the initial type of raw material is heat energy, the parameters of which are determined by choosing «Energy». Thermal energy is generated by 5 sources: comb\_NG\_w - boiler house burning natural gas, comb\_Coal\_w - boiler house burning coal, CHP\_Coal\_w - CHP plant burning coal, comb\_Diesel\_w - standby boiler house working on diesel, Comb\_Wood\_w - boiler house burning coal, Comb\_Wood\_w - boiler house burning coal.

For a boiler plant that burns fuel, the general form of the equation for determining the fuel consumption is as follows:

$$B_T = Q_{KV} / Q_H^P \cdot \eta_{KV} \tag{1}$$

where:  $\eta_{KV}$  - efficiency for modern boilers burning natural gas, fuel oil, unit efficiency can reach 0.85 - 0.9. For current calculations, the efficiency of a boiler plant operating on coal and wood is assumed to be 80%, on gas, fuel oil and diesel fuel - 88%.  $Q_H^P$  - the lowest heat of combustion of fuel, for solid and liquid fuels - kg, for gaseous - m3, composition and lower heat of combustion of various fuels,  $Q_{KV}$  - set heat output of the boiler plant GJ/day.

The composition and thermotechnical characteristics of the combustible mass of the types of fuel, the composition and heat of combustion of combustible gases are determined from the reference data [21].

After determining the fuel consumption at the boiler plant according to the formula (1) for a given thermal power, it is possible to estimate the cost of the sold product:

$$c_T = B_T \cdot \Pi_T / Q_{KV} \quad (2)$$

where:  $\Pi_T$  - the price of feedstock, tg/kg,  $\Pi_{T(YT)}$  - for coal, tg/kg,  $\Pi_{T(\Pi p, r)}$  - for natural gas, tg/m3,  $\Pi_{T(\Delta p, r)}$  - for firewood, tg/kg,  $\Pi_{T(\Delta r, r)}$  - for technical diesel fuel, tg/kg.

A thermal power plant operating on coal and supplying thermal energy to the network in the form of hot water in the retro- and future have averaged indicators of specific consumption of equivalent fuel for energy generation in the country. From the analysis, it can be concluded that the dynamics of the decrease in the specific consumption of equivalent fuel ( $Q_{H(YCJI)}^P = 29.33$  MJ/kg ct) for the generation of electric and heat energy from year to year. For the current 2020, the specific consumption of equivalent fuel for the generation of heat energy was adopted - 158 kg/Gcal.

The conversion of the specific consumption of standard fuel to the specific consumption of hard coal per GJ is given in expression 3:

$$b_{K.V}^{T\Delta H} = b_{VCI} \cdot Q_{H(YCJI)}^P / (Q_{H(K.V)}^P \cdot 4,1868), \quad (3)$$

where: 4.1868 is the energy conversion factor from Gcal to GJ.

After determining the fuel consumption according to (1) and (3) and calculating the cost of the supplied heat energy, the information in the cards of the initial operators is filled in.

**Results and discussion.** Operation unit. The next element in the diagram is the operating block, with the help of which the equipment that produces the work, the product, etc., is described.

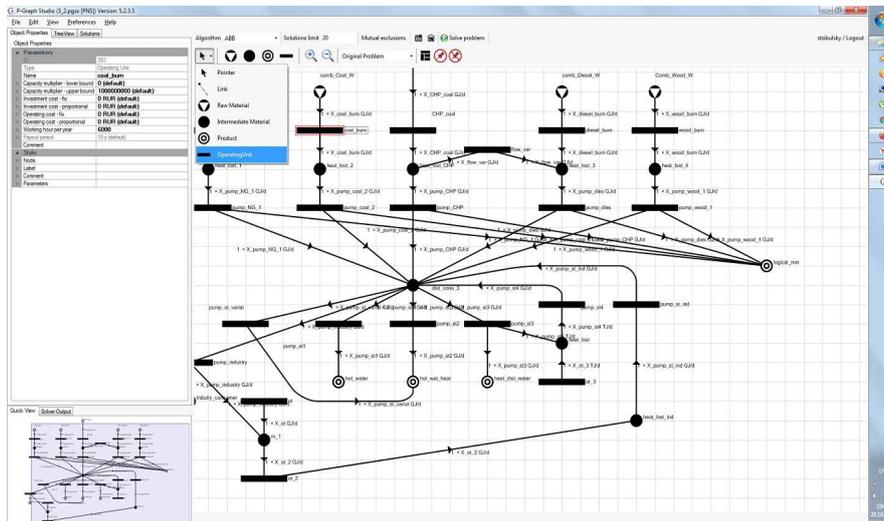


Figure 2 - Operating unit

For the circuit element shown in Figure 2, the parameters of the described equipment are set, such as: name (Name), lower and upper boundaries for resource consumption through this element (Capacity multiplier - lower and upper bound), investment costs (Investment cost fix), investment costs per consumer (Investment cost proportional), the number of hours of work per year of equipment (Working hour per year), Link. This element of the diagram is used to link the operational unit (Operation unit with products (Raw Material, Intermediate Material, Product). At the entrance and exit from the operational unit, a certain conversion factor can be set (Figure 3).

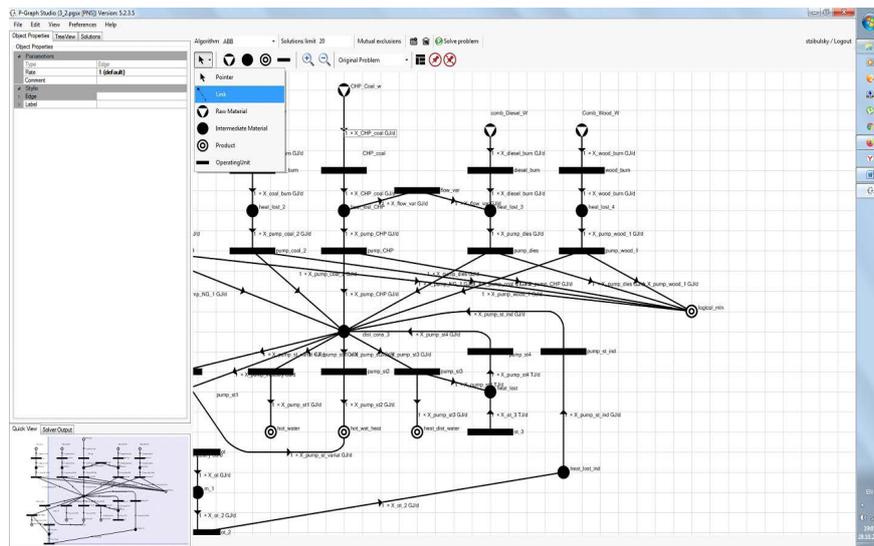


Figure 3 - Connecting line

Thus, using operational blocks and intermediate products, you can transform one resource into another (or several), linking them to each other with conversion factors.

**Intermediate Material.** The intermediate product is used to describe the loss of resources, delivery to an intermediate consumer, connection of flows from operating units, description of the name of the product and its characteristics, etc. The parameters to be set are similar to those of the initial resource (Figure 4).

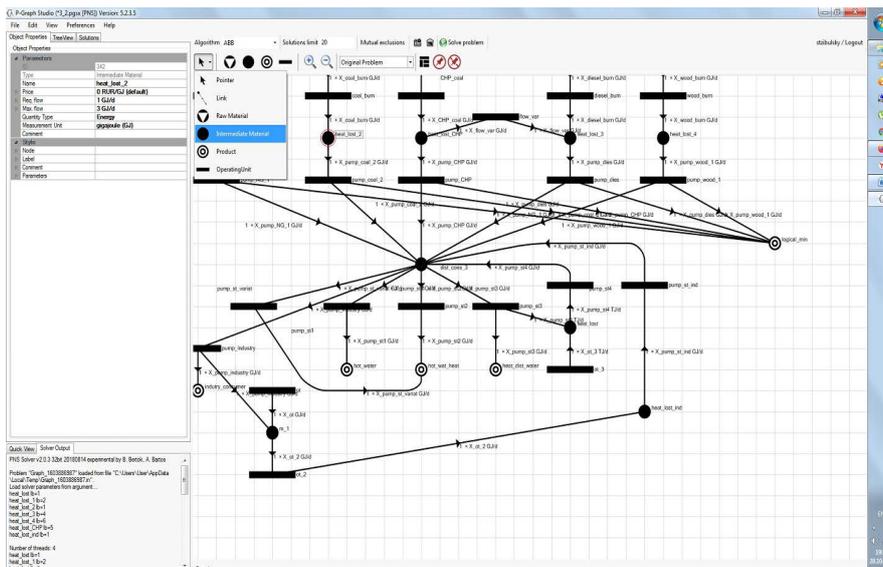


Figure 4 - Intermediate product

**Product.** The final product that goes to the target consumer, all parameters for this element are described in the same way as in the Drag and Drop Material and Intermediate Material sections.

Scheme of conversion and return of network water to the collection collector. The part of the diagram presented in Figure 5 is necessary to describe the flows of energy and water for supply to consumers.

The “coll” collector receives flows of heat energy (Energy) from boiler houses and heat power centers. Further, from the common collector, the flows diverge through pumping distribution stations to the districts to consumers. The pumping station “pump\_st3” receives 105 GJ/day of heat energy, in which there is a redistribution into two flows in a ratio of 2/3 to 1/3. The final consumer of heat energy “heat\_dist\_water” from “pump\_st3” receives 70 GJ/day, which he consumes without returning the network water back to the sources. Heat energy 35 GJ/day in the form of heating water (with the possibility of returning to the network for further heating) is sent from “pump\_st3” to the collector of water collection “cons\_HE\_HW”. After the collector, the entire flow enters the secondary operator “HE\_HW\_2”, which serves to distribute and collect direct and return network water from the consumer.

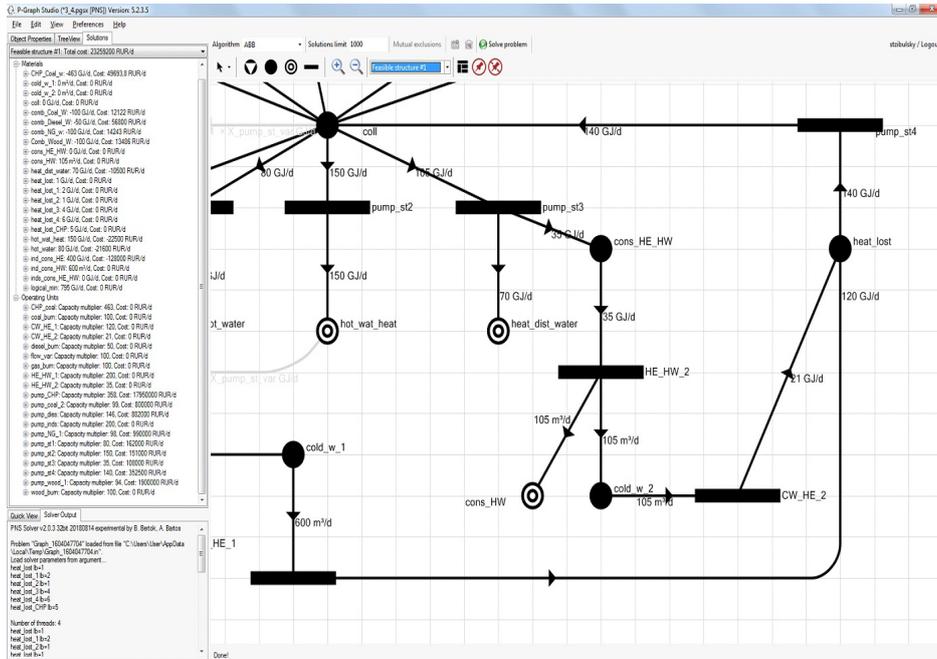


Figure 5 - A bunch of converting heat energy into network water and return of chilled water in the form of energy to the network.

At the same time, this operator serves to convert hot water from thermal energy, therefore, a multiplying coefficient 3 is installed on the line after it, which is calculated from the expression (4):

$$k_{HE\_HW} = Q_{T3} / G_{CB} \cdot c_{II}^B (t_{HC} - t_{XB}) = 1 \cdot 10^3 / (1.4 \cdot 1868 \cdot (90 - 10)) = 3, \quad (4)$$

where: HE\_HW index - shows the conversion from thermal energy to hot water (HeatEnergy → HeatWater);  $Q_{T3}$  - thermal energy reduced to 1 GJ/day;  $G_{CB}$  - flow rate of network water, reduced to 1 m<sup>3</sup>/day,  $t_{HC}$  - temperature of the direct network, 90°C;  $t_{XB}$  is the temperature of cold water taken from the well, 10°C;  $c_{II}^B$  is the specific isobaric heat capacity of water averaged for temperatures of 10 - 90°C.

The end consumer receives heated water with a flow rate of 105 m<sup>3</sup> / day with a direct network temperature of 90°C. As noted earlier, the consumer’s “cons\_HW” heating system has a closed cycle, so the consumer returns water to the network with a return temperature of 60°C. The water goes back to the operator unit “HE\_HW\_2” from which it goes to the element “cold\_w2” with the same conversion factor 3, which is calculated by expression (4).

The element “cold\_w2” is used to describe the transfer of heat energy from the heated water to the consumer’s target, so, of course, its temperature dropped. For this, after this element “cold\_w2” in front of the operating unit “CW\_HE\_2”, a conversion factor of 5 is set, which shows the ratio of the heat to the flow rate of water contained in the return network water (5):

$$k_{CW\_HE} = Q_{T3} / G_{CB} \cdot c_{II}^B (t_{OC} - t_{XB}) = 1 \cdot 10^3 / (1.4 \cdot 1868 \cdot (60 - 10)) = 5, \quad (5)$$

where: index CW\_HE - shows the conversion from thermal energy to hot water (ColdWater → HeatEnergy);  $t_{OC}$  - temperature of the return water supply, 60°C.

Description of conditions for the total power of the system. Using the element “logical\_min” and connecting lines coming out of the operating blocks, which characterize the operation of pumping stations, it is possible to set the lower and upper limits for the total capacity. In this case, the system can receive from 500 to 900 GJ / day (Figure 6).

With the help of the operating unit “CW\_HE\_2”, the return network water with a temperature of 60°C is converted into thermal energy: 105 m<sup>3</sup>/day comes to the operator’s input, and 21 GJ/day at the output.

In the “heatlost” element, the flows of return network water are connected, and it also serves to describe possible heat losses during transportation to a boiler house or heat station. After the “heatlost” element, an operating unit “pump\_st4” is installed to describe the costs of transporting the return network water to the stations.

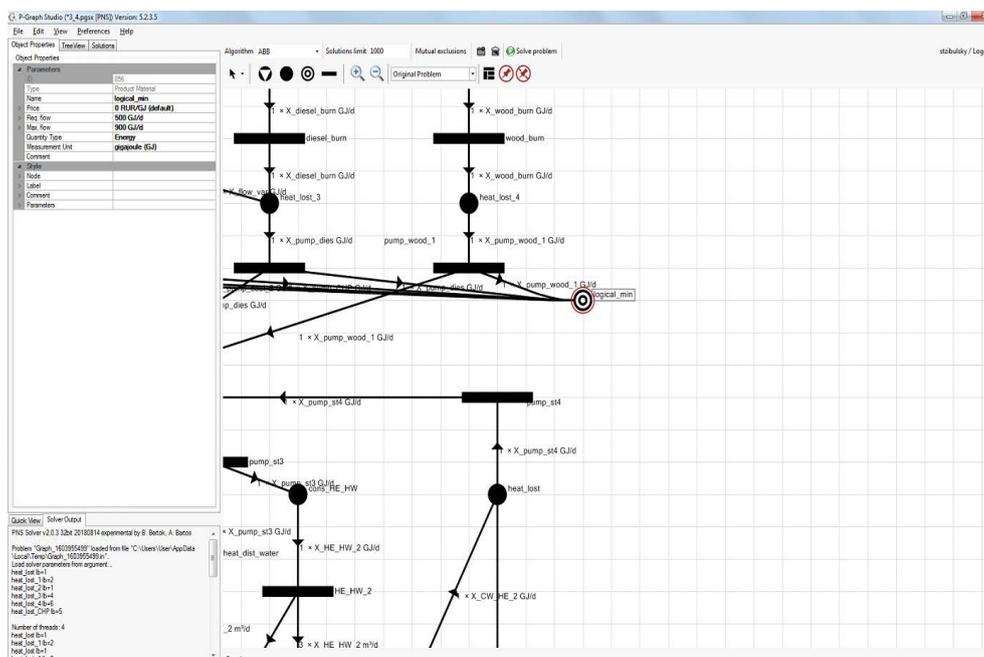


Figure 6 - Bundle to limit the required total load in the network

**Conclusions.** It should be noted that the “coll” element is used to collect and distribute heat energy flows. For this reason, after the operating unit “pump\_st4”, the flow of heat energy of the return heating water is directed to the collector “coll”, and the remaining energy for heating the heating water comes from heat sources. Thus, the assessment of the efficiency of resources and the level of environmental impact is carried out on the basis of the analysis of the life cycle after determining the spatial boundaries and stages of the evolution of the system. An algorithm for controlling the heat and water supply of the region has been developed for the optimal combination of energy and water production / consumption facilities.

**Acknowledgements.** The work was carried out within the framework of grant financing of scientific projects of the Republic of Kazakhstan for 2021-2023 with a period of implementation of 36 months on the topic AP09260365 “Application of integrated technologies to reduce environmental pollution and increase energy efficiency of industrial territorial complexes”.

#### Information about the authors:

**Z.I. Jamalova** – PhD Doctoral Student M. Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, zulya\_d\_85@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1552-8321>;

**S.A. Boldyryev** – Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor at the National Research Tomsk Polytechnic University, Researcher at the Research School of Chemical and Biomedical Technologies, Tomsk, Russia. sboldyryev@tpu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2866-3995>;

**B.M.Kaldybayeva** – PhD, Associate Professor of M. Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan, kaldybaeva.b@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1570-2107>;

**D.M. Kenzhebekov** – PhD Doctoral Student M. Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan. doskhan\_349@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6367-5975>.

#### REFERENCES

- [1] Yaashikaa P.R. et al. (2019) A review on photochemical, biochemical and electrochemical transformation of CO<sub>2</sub> into value-added products, J. CO<sub>2</sub> Util., 33: 131–147. DOI:10.1016/J.JCOU.2019.05.017 (in Eng).
- [2] GlobalEnergyReview (2020) [Electronic resource: [www.iea.org/reports/global-energy-review](http://www.iea.org/reports/global-energy-review)](in Eng).
- [3] NOAA National Centers for Environmental Information (2020). State of the Climate: Global Climate Report for Annual, from <https://www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/202013>(in Eng).
- [4] Bai Y. et al. (2019). How does urbanization affect residential CO<sub>2</sub> emissions? An analysis on urban agglomerations of China, J. Clean. Prod. 209: 876–885. DOI: 10.1016/j.jclepro.2018.10.248.(in Eng).
- [5] Yazdanie M., Densing M., Wokaun A. (2018) The nationwide characterization and modeling of local energy systems: Quantifying the role of decentralized generation and energy resources in future communities, Energy Policy. Elsevier, 118: 516–533. DOI: 10.1016/j.enpol.2018.02.045. (in Eng).

- [6] Hansen É. et al. (2017) Water and wastewater minimization in a petrochemical industry through mathematical programming, *J. Clean. Prod.*, 172:1814–1822. DOI: 10.1016/j.jclepro.2017.12.005. (in Eng).
- [7] Wang J. et al. (2013) Thermodynamic analysis and optimization of an (organic Rankine cycle) ORC using low grade heat source, *Energy*, 49: 356–365. DOI: 10.1016/j.energy.2012.11.009. (in Eng).
- [8] Bao H., Ma Z., Roskilly A.P. (2016) An optimised chemisorption cycle for power generation using low grade heat, *Appl. Energy*, 186: 251–261. DOI: 10.1016/j.apenergy.2016.06.080. (in Eng).
- [9] Al-attab K.A., Zainal Z.A. (2017) Low grade waste heat recovery using diethyl ether thermo-fluid diaphragm engine, *Appl. Therm. Eng.*, 127: 944–949. DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2017.08.114. (in Eng).
- [10] Wang T. et al. (2014) Waste heat recovery through plate heat exchanger based thermoelectric generator system, *Appl. Energy*, 136: 860–865. DOI: 10.1016/j.apenergy.2014.07.083. (in Eng).
- [11] Pirmohamadi A., Ghazi M., Nikian M. (2019) Optimal design of cogeneration systems in total site using exergy approach, *Energy*, 166: 1291–1302. DOI: 10.1016/j.energy.2018.10.167. (in Eng).
- [12] Sy C.L. et al. (2018) Synthesis of Cogeneration, Trigeneration, and Polygeneration Systems Using Target-Oriented Robust Optimization, *Sustainable Energy Technology and Policies: A Transformational Journey*, 1: P. 155–171. DOI: 10.1007/978-981-10-7188-1\_7. (in Eng).
- [13] Aviso K.B., Tan R.R. (2018) Fuzzy P-graph for optimal synthesis of cogeneration and trigeneration systems, *Energy*, 154: 258–268. DOI: 10.1016/j.energy.2018.04.127. (in Eng).
- [14] Kryukov O.V., Serebryakov A.V. (2017) Energy efficient power supply systems of oil and gas pipelines electric Drives, *Bulletin of South Ural state university. series: power engineering*, 17(3): 102–110. DOI: 10.14529/power170312. (in Eng).
- [15] Klemeš J., Dhole V.R., Raissi K., Perry S.J., Puigjaner L. (1997) Targeting and design methodology for reduction of fuel, power and CO<sub>2</sub> on total sites, *Applied Thermal Engineering*, 17(8):993–1003. DOI:10.1016/S1359-4311(96)00087-7. (in Eng).
- [16] Cucek L., Mantelli V., Yong J.Y., Varbanov P.S., Klemeš J.J., Kravanja Z., (2015) A Procedure for the Retrofitting of Large-Scale Heat Exchanger Networks for Fixed and Flexible Designs applied to Existing Refinery Total Site, *Chemical Engineering Transactions*, 45:109–114. doi.org/10.3303/CET1545019. (in Eng).
- [17] Morandin M., Hackl R., Harvey S. (2014) Economic feasibility of district heating delivery from industrial excess heat: A case study of a Swedish petrochemical cluster, *Energy*, 65:209–220. DOI: 10.1016/j.energy.2013.11.064. (in Eng).
- [18] Boldyryev S., Mikulčić H., Krajačić G., Duić N. (2016) Waste heat utilisation of Croatian cement industry accounting Total Site demands, *Computer Aided Chemical Engineering*, 38:223–228. DOI: 10.1016/B978-0-444-63428-3.50375-1. (in Eng).
- [19] Kaldybaeva B.M., Khusanov A.E., Dmitriev E.A., Sabyrkhanov D.S., Abilmagzhanov, A.Z. (2016) Modelling with simultaneous phase transfer chemisorption of hydrogen sulfide and carbon dioxide in the chemisorption apparatus/ *News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Series of Geology and Technical Sciences*, 6(420): 178-184. (in Eng).
- [20] Kaldybayeva B.M., Khussanov A.E., Abilmagzhanov A.Z., Boldyryev S.A. (2019) Experimental Justification of the Absorber selection for the Process of Simultaneous Chemisorption of Hydrogen Sulphide and Carbon Dioxide, *Reports of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan*, 1(323): 40 -46. doi.org/10.32014/2019.2518-1483.5. (in Eng).
- [21] Belousov V.N., Smorodin S.N., Smirnova O.S. (2011) Fuel and gorenje theory. *Fuel*. [Toplivoiteoriyagoreniya. Toplivo.] -St. Petersburg: SPBGTURP. (in Russ.).

**В.Ю. Ким**

Астрофизический институт им. В.Г. Фесенкова, Алматы, Казахстан.

E-mail: kim@aphi.kz

**ИЗОЛИРОВАННЫЕ РЕНТГЕНОВСКИЕ ПУЛЬСАРЫ КАК ВОЗМОЖНЫЕ  
ПОТОМКИ МАССИВНЫХ РЕНТГЕНОВСКИХ ДВОЙНЫХ СИСТЕМ**

**Аннотация.** Рассмотрены особые подклассы изолированных нейтронных звезд – аномальных рентгеновских пульсаров (АРП) и мягких гамма-репитеров (МГР). Наблюдаемые проявления данных источников могут указывать на аккреционную природу их рентгеновского излучения. Показано, что изолированные рентгеновские пульсары могут быть потомками наиболее широких пар рентгеновских двойных систем, где нейтронная звезда сформировалась при коллапсе ядра первой звезды в массивной двойной системе. Распад системы мог произойти после вспышки сверхновой ее массивного компаньона. В этом подходе долгопериодические изолированные рентгеновские пульсары являются старыми нейтронными звездами, аккрецирующими из остаточных структур, которые могли сформироваться еще в эпоху их существования в двойной системе, а окружающие их молодые остатки от вспышки сверхновой могут быть продуктом конечной стадии эволюции их бывших массивных компаньонов. Также в статье приводятся результаты численных расчетов параметров АРП и МГР в рамках различных аккреционных приближений. Показано, что наилучшего согласия удастся достичь в рамках приближения магнито-левитационной аккреции.

**Ключевые слова:** нейтронные звезды, изолированные рентгеновские пульсары, аккреция.

**В.Ю. Ким**

Фесенков атындағы астрофизика институты, Алматы, Қазақстан.

E-mail: kim@aphi.kz

**РЕНТГЕН ПУЛЬСАРЛАРЫН МАССИВТІ ҚОС РЕНТГЕН ЖҮЙЕЛЕРІНІҢ  
ЖҰРНАҒЫ РЕТІНДЕ ОҚШАУЛАУ**

**Аннотация.** Мақалада оқшауланған нейтрон жұлдыздарының ерекше ішкі кластары - өзгеретін рентген пульсарлары (ӨРП) және жұмсақ гамма репитерлері (ЖГР) қарастырылды. Берілген объектілердің бақыланатын көрінісі олардың рентгендік сәулеленуі аккрециялық табиғатына бағыттайды. Массивті қос жүйеде алғашқы жұлдыздың ядросы коллапс кезінде қалыптасуы, оқшауланған рентген пульсарларының ерекше кең рентген қос жүйелі жұптарының тегі болуы мүмкіндігі көрсетілген. Жүйенің ыдырауы оның массивті құраушысы асқын жаңа жұлдыздың жарқ етуінен кейін болуы мүмкін. Бұл әдісте оқшауланған ұзақ периодты рентген пульсарлары қалдық құрылымдардан аккрецияланатын кәрі нейтрон жұлдыздары болып табылады, олар қос жүйеде болған дәуірде қалыптасуы мүмкін, ал асқын жаңа жұлдыздың жарқ етуінен қоршалған жас қалдықтары бұрынғы массивті құраушыларының соңғы эволюциялық сатыдағы өнімі болуы мүмкін. Мақалада әртүрлі аккрециялық жуықтау шеңберінде ӨРП және ЖГР параметрлерінің сандық есептеулерінің нәтижелері келтірілген. Магниттік левитацияны аккредиттеу сценарийі аясында ең жақсы келісімге қол жеткізуге болатындығы көрсетілген.

**Түйін сөздер:** нейтрон жұлдыздары, оқшауланған рентген пульсарлары, аккреция.

V.Y. Kim

Fesenkov Institute of astrophysics, Almaty, Kazakhstan.

E-mail: kim@aphi.kz

## ISOLATED X-RAY PULSARS AS POSSIBLE DESCENDANTS OF HIGH-MASS X-RAY BINARY SYSTEMS

**Abstract.** Special subclasses of isolated neutron stars - anomalous X-ray pulsars (AXPs) and soft gamma-ray repeaters (SGRs) are considered. The observed manifestations of these sources may indicate the accretionary nature of their X-ray emission. It is shown that isolated X-ray pulsars can be descendants of the widest pairs of high-mass X-ray binaries, where a neutron star was formed during the collapse of the core of the first star in a massive binary system. The disintegration of the system could have occurred after a supernova explosion of its massive companion. In this approach, long-period isolated X-ray pulsars are old neutron stars accreting from remnant structures that could have formed during the epoch of their existence in a binary system, and the young supernova remnants surrounding them may be the product of the final stage of evolution of their former massive companions. The article also presents the results of numerical calculations of the AXP and SGR parameters in the framework of various accretionary approximations. It is shown that the best agreement can be achieved within the framework of the Magnetic Levitation Accretion scenario.

**Key words:** neutron stars, isolated X-ray pulsars, accretion.

**Acknowledgement.** This research has been funded by the Science Committee of the Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan (Grant No. AP09258811).

**Введение.** Аномальные рентгеновские пульсары (АРП) и мягкие гамма-репитеры (МГР) являются особыми подклассами изолированных нейтронных звезд, у которых светимость  $L_x$  превышает потери вращательной энергии  $\dot{E}_{rot}$  за некоторым исключением [1]. Данные объекты характеризуются узким диапазоном периодов  $P$  (2-12 с.), быстрым темпом торможения ( $\dot{P}$  ( $\sim 10^{-11}$  с/с) [2], мягким рентгеновским спектром ( $T_{bb} \sim 0.5$ кэВ) [3], низкой рентгеновской светимостью  $L_x \sim 10^{35}$  эрг/с по сравнению с рентгеновскими пульсаром, входящими в массивные тесные двойные системы (НМХВ) [1], некоторые объекты ассоциированы с остатками вспышек сверхновых [4]. Основным отличием МГР от АРП являются непериодические вспышки в рентгеновском и гамма-диапазоне с увеличением светимости от нескольких порядков до десятка, гигантские вспышки могут иметь светимости порядка  $\sim 10^{43-47}$  эрг/с [1].

С момента открытия АРП и МГР исходно рассматривалось, что характеристики их рентгеновского излучения обнаруживают близкое сходство с излучением аккрецирующих рентгеновских пульсаров в двойных системах [4]. В статье об открытии первого АРП 1E 2259 [4] авторы предположили, что данный объект является либо изолированным пульсаром, аккрецирующим из окружающей его туманности G109.1-1.0, либо является компонентом тесной двойной системы. Авторами также отмечено отсутствие наблюдательных подтверждений наличия оптического компаньона и отсутствие Доплеровских сдвигов в профилях пульсации, характерных для рентгеновских пульсаров, входящих в тесные двойные системы, что в свою очередь говорит об их изолированном состоянии.

Основными вопросами в интерпретации АРП и МГР являются механизм генерации их рентгеновского излучения в отсутствие звезды-донора, снабжающего веществом для аккреции, а также относительно долгие периоды осевого вращения в сравнении с изолированными радиопульсарам.

**Материалы и основные методы.** Для теоретических расчетов и оценок по интерпретации наблюдаемых характеристик АРП и МГР, выполненных в рамках данной работы, использовались открытые данные из каталога McGill [3], каталога радиопульсаров ATNF [6], а также из публикаций, приведенных в разделе использованной литературы. Методы и подходы, используемые в данной работе, соответствуют общепринятым по исследованию ротационной эволюции пульсаров и подробно расписаны в разделе “результаты”.

**Результаты. Остаточные аккреционные структуры изолированных пульсаров.** Как было уже упомянуто во введении: с момента открытия АРП и МГР исходно рассматривались как аккрецирующие нейтронные звезды [7]. В данной главе разобраны основные аккреционные модели АРП и МГР: сферическая, дисковая и магнито-левитационная аккреции, а также их происхождение. Условно, сферическую аккрецию и аккрецию из Кеплеровского диска относят к немагнитным

моделям аккреционных структур, в которых не учитывается присутствие магнитного поля в веществе, захватываемое компактным объектом на радиусе Бонди [8].

**Сферическая аккреция и ее модификации.** Захватываемое вещество в модели сферически-симметричной аккреции приближается к нейтронной звезде со скоростью свободного падения:  $v_{ff} = (2GM_{ns}/r)^{1/2}$  в динамической шкале времени (времени свободного падения):  $t_{ff} = (r^3/2GM_{ns})^{1/2}$ . Динамическое давление потока аккрецируемого вещества возрастает по мере его продвижения к нейтронной звезде [8], а именно:

$$E_{ram}(r) = E_{ram}(R_G) \left(\frac{R_G}{r}\right)^{5/2} \quad (1)$$

где  $E_{ram}(R_G) = \rho_\infty v_{rel}^2$  - динамическое давление на радиусе Бонди,  $v_{rel}$  - пространственная скорость нейтронной звезды. Динамическое давление продвигаемого вещества достигает величины давления магнитного поля нейтронной звезды  $P_m = B_{ns}^2/8\pi$  на Альвеновском радиусе:

$$r_A = \left(\frac{\mu^2}{M\sqrt{2GM}}\right)^{2/7} \quad (2)$$

Здесь  $\mu$  - дипольный магнитный момент нейтронной звезды. В рамках традиционных аккреционных сценариев в немагнитном приближении радиус магнитосферы нейтронной звезды определяется Альвеновским радиусом.

Если аккреционный поток, захватываемый компактным источником, обладает незначительным угловым моментом, то такой подход рассматривается как квазисферическая аккреция. Геометрия квазисферического потока отклоняется несущественно от сферически симметричного при условии [8]:  $r_c < r_A$ . Здесь  $r_c = \xi^2 \Omega_0^2 r_G^4 / G M_{ns}$  - радиус циркуляризации, на котором аккрецируемое вещество достигает Кеплеровской скорости,  $R_G$  - радиус гравитационного захвата (радиус Бонди),  $\Omega_0 = \Omega(R_G)$  - угловая скорость аккрецируемого вещества на радиусе Бонди,  $\xi$  - безразмерный параметр, характеризующий диссипацию углового момента в сферическом аккреционном потоке.

Возможность сферической аккреции на АРП и МГР была рассмотрена в работе [9] в которой на основании спектральных наблюдений авторы показывают, что эффективная площадь чернотельного излучения у АРП и МГР составляет от площади поверхности нейтронной звезды. Авторы цитируемой статьи делают вывод, что АРП и МГР могут являться потомками тесных двойных систем, образовавших общую оболочку (объекты Торна-Жидков), в которых аккреция происходит в квазисферическом режиме.

Угловая скорость вещества, захватываемое нейтронной звездой после взрыва сверхновой, существенно меньше кеплеровской угловой скорости и аккреция вещества происходит в квазисферическом режиме. Длительность данной стадии, сопоставима с временем свободного падения на радиусе Бонди:  $t_{ff}(r_G)$ . Однако значение  $t_{ff}$  является пренебрежимо малым по сравнению с возрастом аномальных пульсаров, следовательно, дальнейший сценарий аккреции предполагает, что исходный квазисферический поток за время  $t < t_{ff}(r_G)$  преобразуется в остаточный диск [10].

**Аккреция из Кеплеровского диска.** Формирование остаточного диска происходит при условии, что радиус циркуляризации превосходит Альвеновский [8]  $r_0 > r_A$ , в обратном случае аккреция будет иметь квазисферический вид (см. предыдущую главу). Данное неравенство реализуется при соотношении:  $v_{rel} < v_{cr}$ , где  $v_{rel}$  - скорость нейтронной звезды относительно аккреционного потока [14],

$$v_{cr} \simeq 4 \times 10^4 \beta_0^{7/15} \varepsilon^{7/5} \xi_{0.2}^{7/5} \left(\frac{c_0}{10^6 \text{см/с}}\right)^{14/15} \text{см/с} \quad (3)$$

где  $\xi_{0.2} = \xi/0.2$  - нормированный параметр диссипации углового момента (см. предыдущую главу),  $\beta_0$  - безразмерный параметр (см. следующую главу),  $0 \leq \varepsilon \leq 1$  - параметр турбулентного движения плазмы.

Соотношение между  $M_{fb}$  и  $M_d$  согласно [11] зависит от свойств звезды инициировавшей вспышку сверхновой. Результаты численных расчетов показывают, что при начальных физических характеристиках нейтронной звезды  $B_0 \geq 5 \times 10^{12} \text{Гс}$ ,  $P_0 = 0.015 \text{с}$  и массе диска  $M_d = 0.006 M_\odot$  за интервал времени  $10^4$  -  $4 \times 10^4$  нейтронная звезда способна увеличить свой период до 10с, характерный для АРП и МГР [11]. Значения нижнего предела массы остаточного диска АРП и МГР  $M_d = M\tau$ ,  $\tau = P/2\dot{P}$ , приведены в таблице (1).

Таблица 1 – Оценка нижнего предела массы остаточного аккреционного диска для различных АРП и МГР.

$M_d(M_{\odot})$	Источник	Тип
2.47175E-7	4U 0142+61	АРП
1.64667E-7	J1841-045	АРП
4.50352E-7	XTE J1810-197	АРП
3.67693E-7	1E 1048,1-5937	АРП
6.24952E-7	J1622-4950	АРП
7.36716E-7	J171405,7-381031	АРП
3.30947E-7	1E 2259+586	АРП
2.75E-7	J010043,1-721134	АРП
1.89356E-7	J164710,2-455216	АРП
1.80457E-7	J170849,0-400910	АРП
1.67127E-6	1E 1547.0-5408	АРП
2.73453E-7	SGR 0526-66	МГР
4.90161E-7	SGR 1900+14	МГР
2.98217E-7	SGR 1806-20	МГР
1.24117E-6	SGR 1627-41	МГР
8.17726E-5	J0821-4300	МГР
1.38594E-5	1E 1207.4-5209	МГР

Значения дипольного магнитного момента АРП и МГР в случае реверсной аккреции в немагнитном приближении, полученного из тормозящего момента сил:  $K_{sd} = \mu^2 / r_{cor}^3 = I\dot{\omega}$ , приведены в таблице (2).

Таблица 2 – Оценки дипольного магнитного момента ( $\mu$ ), критического темпа аккреции ( $\dot{M}_{cr(pr)}$ ) в случае немагнитных приближений аккреции. Темп аккреции  $\dot{M}_{Lx}$  АРП и МГР из оценок их светимости.

$\mu_{K_{sd}}(10^{30})\text{Гссм}^3$	$\dot{M}_{cr(pr)}(\text{г/с})$	$\dot{M}_{Lx}(\text{г/с})$	Источник	Тип
0.24	2.30E14	5.89E14	4U 0142+61	АРП
1.08	2.20E15	1.01E15	J1841-045	АРП
0.47	2.50E15	6.96E13	XTE J1810-197	АРП
0.81	5.13E15	3.21E13	1E 1048,1-5937	АРП
0.70	9.81E15	1.82E14	J1622-4950	АРП
1.38	4.93E16	3.21E14	J171405,7-381031	АРП
0.12	9.10E13	1.18E14	1E2259+586	АРП
0.75	2.58E15	3.27E14	J010043,1-721134	АРП
0.10	2.86E13	1.61E13	J164710,2-455216	АРП
0.75	1.25E15	3.64E14	J170849,0-400910	АРП
1.19	1.54E17	7.28E14	1E 1547.0-5408	АРП
1.65	3.47E16	6.96E14	SGR 1900+14	МГР
3.83	7.83E16	8.57E14	SGR 1806-20	МГР
0.75	3.64E16	1.60E14	SGR 1627-41	МГР
1.06	5.16E15	7.50E14	SGR 0526-66	МГР

Аккреционные модели АРП и МГР с дисковой структурой могут рассматриваться как изолированные нейтронные звезды, окруженные остаточным Кеплеровским аккреционным диском (модели реверсной аккреции) [12].

Сценарий образования таких структур был рассмотрен в нескольких работах. В статье [12] указывалось на то, что АРП и МГР могут быть потомками объектов Торна-Жидков и аккреционный диск мог сформироваться от общей оболочки.

Альтернативная модель описана в статье [11], в данной модели часть вещества после вспышки сверхновой может быть захвачена гравитационным полем образовавшейся нейтронной звезды. Согласно статье [5] образование АРП и МГР, по сравнению с радиопульсарами, происходит в более плотной межзвездной среде (околозвездной оболочке) ( $n > 0.1\text{см}^{-3}$ ), образованной массивными ( $8M_{\odot}$ ) ОВ звездами-прародителями АРП и МГР с медленными пространственными скоростями ( $\sim 4\text{км/с}$ ). После вспышки сверхновой в плотной межзвездной среде, эжектируемое вещество быстро теряет скорость от взаимодействия с плотной околозвездной оболочкой, формируя при этом

обратную ударную волну по направлению к образовавшейся нейтронной звезде, что в свою очередь может привести к формированию аккреционного диска.

**Проблемы в описании АРП и МГР в рамках немагнитного приближения аккреции.** Существуют и некоторые трудности в моделях немагнитной аккреции АРП и МГР. 1) Оценка радиуса магнитосферы (в случае немагнитных приближений  $r_m \approx r_A$ ) для подавляющего большинства источников оказывается меньше радиуса коротации  $r_A > r_{cor}$  (см. таблицу 3), что в свою очередь указывает на наличие центробежного барьера, препятствующего проникновению вещества под радиус магнитосферы. Указанные трудности можно преодолеть, предполагая наличие сверхсильного магнитного поля на поверхности нейтронной звезды  $B_0 \cdot 10^{15}$  Гс, что расходится с другими оценками. 2) Присутствие Кеплеровского диска подразумевает вращение нейтронной звезды вблизи равновесного периода, что демонстрировало бы эпизоды ускорения и торможения осевого вращения АРП и МГР вследствие небольших колебаний темпа аккреции. В действительности наблюдается только регулярное торможение [12].

Таблица 3 - Отношения  $r_{cor}/r_A$  для различных АРП и МГР

$r_{cor}/r_A$	Источник	Тип
0.268	SGR 1900+14	МГР
0.225	SGR 1806–20	МГР
1.073	4U 0142+61	АРП
0.658	J1841-045	АРП
0.472	SGR 0526–66	МГР
0.294	XTE J1810-197	АРП
0.1925	1E 1048,1–5937	АРП
0.262	J1622-4950	АРП
0.194	J171405,7-381031	АРП
0.883	1E 2259+586	АРП
0.454	J010043,1-721134	АРП
0.696	J164710,2-455216	АРП
0.576	J170849,0-400910	АРП
0.177	1E 1547.0–5408	АРП
0.174	SGR 1627–41	МГР

**Магнито-левитационная аккреция.** Сценарий аккреции может существенно отличаться от моделей, описанных в предыдущих главах, если аккрецируемое вещество обладает достаточно сильным магнитным полем [13]. В процессе продвижения потока вещества к нейтронной звезде в режиме свободного падения поперечные масштабы сжимаются  $\sim r^{-2}$ , а продольные наоборот увеличиваются  $\sim r^{1/2}$ , и вследствие закона сохранения магнитного потока это приводит к возрастанию напряженности магнитного поля аккреционного потока по мере продвижения к нейтронной звезде  $B_r \propto r^{-2}$ . В свою очередь, увеличение напряженности  $B_r$  приводит к увеличению плотности магнитной энергии (давления магнитного поля)  $E_m = B_r^2/8\pi$ :

$$E_m(r) = E_m(R_G) \left(\frac{R_G}{r}\right)^4 \quad (4)$$

В аккреционном потоке плотность магнитной энергии  $E_m$  возрастает быстрее кинетической энергии в радиальном направлении  $E_{ram}(r) \propto$ . Здесь  $E_m(R_G) = \beta_0^{-1} E_{th}(R_G)$  - плотность энергии магнитного поля аккреционного потока на радиусе Бонди, нормированная к плотности тепловой энергии  $E_{th}(R_G) = \rho_\infty c_{s0}^2$ ,  $\beta = E_{th}/E_m$ ,  $\beta_0 = \beta(R_G)$ , - нормировочный коэффициент,  $c_s$  - скорость звука.

Плотность энергии магнитного поля в аккреционном потоке по мере продвижения к нейтронной звезде достигает плотности его кинетической энергии на радиусе (радиус магнитной левитации):

$$r_{ml} = \beta_0^{-2/3} \frac{2GM_{ns}c_{s0}^{4/3}}{v_{rel}^{10/3}} \quad (5)$$

полученного из равенства  $E_m(r_{ml}) = E_{ram}(r_{ml})$ . Дальнейшее продвижение аккрецируемого вещества в области пространства  $r < r_{ml}$  возможно по мере диссипации его магнитного поля [8].

Как было уже показано, на радиусе магнитной-левитации происходит торможение квазисфери-

ческого потока аккрецируемого вещества его собственным магнитным полем с последующей трансформацией в некеплеров магнитно-левитационный (ML) диск. Для реализации сценария магнито-левитационной аккреции необходимо выполнение условия  $r_{ml} > \{r_A, r_o\}$ .

В статье [65] был рассмотрен механизм торможения нейтронной звезды в рамках модели магнито-левитационной аккреции. Согласно цитируемой работе, момент сил, приложенный стороны ML-диска к нейтронной звезде на радиусе ее магнитосферы:

$$|K| = \frac{k_m \mu^2}{(r_m r_{cor})^2} \left(1 - \frac{\Omega_f(r_m)}{\omega_s}\right) \quad (6)$$

Уравнение 6 показывает обобщенную форму момента сил, приложенного к нейтронной звезде со стороны аккреционного потока. Оно сводится к выражению  $K_{sd}^0 = k_m \dot{M} \omega_s r_A^2$  при условии, что вещество, падающее на нейтронную звезду, не обладает угловым моментом, т. е.  $\Omega_f = 0$ , и что радиус магнитосферы нейтронной звезды фиксирован условием  $r_m = r_A$ .

Вместе с тем, тормозящий момент сил оказывается тем больше, чем меньше радиус магнитосферы нейтронной звезды. Такая ситуация реализуется в случае, если проникновение плазмы в магнитное поле нейтронной звезды происходит вследствие аномальной диффузии [13], т. е. управляется тем же механизмом, что и проникновение солнечного ветра в магнитное поле Земли. Радиус магнитосферы в этом случае может быть получен путем решения уравнения неразрывности  $\dot{M}_A = \dot{M}_{in}$ , где  $\dot{M}_A = L_x R_{ns} / G M_{ns}$  - темп аккреции на поверхность нейтронной звезды и [13]

$$\dot{M}(r_m) = 4\pi r_m^{5/4} \rho_0 (2GM_{ns})^{3/4} D_{eff}^2(r_m) \quad (7)$$

темп диффузии плазмы в магнитное поле звезды на границе ее магнитосферы. Здесь  $D_B = \alpha_B c k_B T(r_m) / 16 e B(r_m)$  - Бомовский коэффициент диффузии,  $e$  - заряд электрона и  $\alpha_B$  - параметр эффективности, величина которого находится в пределах 0.01–0.1. Комбинация вышеуказанных выражений дает оценку внутреннего радиуса ML-диска, соответствующий радиусу магнитосферы нейтронной звезды [8]  $r_m = r_{ma}$  (см. таблицу 4):

$$r_{ma} = \left(\frac{cm_p^2}{\sqrt{2}ek_B}\right)^{2/13} \times \frac{\alpha_B^{2/13} \mu_{ns}^{13/13} (GM_{ns})^{5/13}}{T_0^{2/13} L_x^{4/13} R_{ns}^{4/13}} \quad (8)$$

Таблица 4 - Оценка радиуса магнитосферы  $r_{ma}$  и соотношение к радиусу коротации  $r_{cor/ma}$  АРП И МГР в рамках модели магнито-левитационной аккреции

$r_{ma}$ (см)	$r_{cor/ma}$	Источник	Тип
1.29E8	3.92	SGR 1900+14	МГР
1.85E8	3.49	SGR 1806–20	МГР
7.79E7	8.66	SGR 0526-66	МГР
1.88E8	1.68	SGR 1627–41	МГР
3.02E7	23.52	4U 0142+61	АРП
5.97E7	14.56	J1841-045	АРП
1.55E8	3.39	XTE J1810-197	АРП
3.08E8	1.89	1E 1048,1–5937	АРП
1.42E8	3.14	J1622-4950	АРП
1.81E8	2.27	J171405,7-381031	АРП
4.19E7	14.65	1E2259+586	АРП
8.99E7	7.48	J010043,1-721134	АРП
8.65E7	9.38	J164710,2-455216	АРП
7.69E7	10.80	J170849,0-400910	АРП
1.38E8	1.97	1E 1547.0-5408	АРП

Верхние и нижние пределы значений дипольного магнитного момента нейтронной звезды в модели магнито-левитационной аккреции [10] можно получить из выражений  $r_{cor} = r_{ma}$  и  $K_{sd} = I\dot{\omega}$  (см. выражения 6 и 8):

$$\mu_{max} \approx 10^{30} \alpha_{0.1}^{-1} T_6^{1/3} m^{-1/9} L_{34}^{2/3} R_6^{2/3} P_s^{13/9} \Gamma_{\text{ссм}}^3 \quad (9)$$

где  $\alpha_{0.1} = \alpha/0.1$ ,  $P_s$  - период нейтронной звезды в секундах,  $m = M_{ns}/1.4 M_\odot$  - нормированная масса нейтронной звезды,  $T_6 = T/10^6$  - нормированная температура в магнитопаузе,  $R_6 = R_{ns}/10^6$  - нормированный радиус нейтронной звезды.

$$\mu_{min} \simeq 7 \times 10^{28} k_m^{-13/17} \alpha_{0.1}^{9/17} P_s^{13/17} L_{34}^{6/17} \dot{\nu}_{-12}^{13/17} I_{45}^{13/17} m^{14/17} T_6^{3/17} R_6^{2/3} \text{Гс см}^3 \quad (10)$$

где  $\dot{\nu} = \dot{P}/P_s^2$ . Значения  $\mu_{max}$  и  $\mu_{min}$  приведены в таблице (5)

Таблица 5 - Верхние и нижние пределы дипольных магнитных моментов ( $\mu$ ) АРП и МГР в рамках модели магнито-левитационной аккреции

$\mu_{min}(\text{Гссм}^3)$	$\mu_{max}(\text{Гссм}^3)$	Источник	Тип
5.94E29	5.98E31	SGR 1900+14	МГР
1.50E30	1.18E32	SGR 1806-20	МГР
5.08E29	8.22E30	SGR 1627-41	МГР
2.11E29	1.18E32	SGR 0526-66	МГР
2.29E28	1.12E32	4U 0142+61	АРП
1.45E29	2.51E32	J1841-045	АРП
1.91E29	1.41E31	XTE J1810-197	АРП
5.08E29	1.05E31	1E 1048,1-5937	АРП
3.01E29	1.88E31	J1622-4950	АРП
7.47E29	2.30E31	J171405,7-381031	АРП
1.60E28	2.80E31	1E 2259+586	АРП
1.65E29	6.75E31	J010043,1-721134	АРП
2.03E28	1.35E31	J164710,2-455216	АРП
1.26E29	1.155E32	J170849,0-400910	АРП
7.15E29	1.63E31	1E 1547.0-5408	АРП

Оценка радиусов полярных колонок в рамках данной модели  $a_{p(ML)} \simeq$  и соответствующие оценки верхнего предела температур  $T_{(ml)}$  горячих пятен, приведены в таблице (6).

Таблица 6 – Оценка радиусов полярных колонок  $a_{p(ML)}$  и верхнего предела температуры  $T_{ml}$  горячих пятен АРП и МГР в рамках приближения магнито-левитационной аккреции,  $T_{bb}$  - температура чернотельной компоненты излучения аномальных пульсаров из оценки их светимости.

$a_p$ (см)	$T_{ml}(10^7 K)$	$T_{ml}$ (кэВ)	$T_{bb}$ (кэВ)	Имя	Тип
182065	0.98	1.27	0.395	4U 0142+61	АРП
129403	1.34	1.72	0.44	J1841-045	АРП
80346	0.87	1.12	0.68	XTE J1810-197	АРП
56942	0.85	1.10	0.623	1E 1048,1-5937	АРП
83884	1.08	1.39	0.40	J1622-4950	АРП
74244	1.32	1.71	0.38	J171405,7-381031	АРП
154570	0.71	0.92	0.41	1E 2259+586	АРП
105410	1.11	1.44	0.38	J010043,1-721134	АРП
107545	0.52	0.67	0.63	J164710,2-455216	АРП
114020	1.10	1.42	0.46	J170849,0-400910	АРП
85060	1.52	1.96	0.43	1E 1547.0-5408	АРП
113283	1.32	1.71	0.53	SGR 0526-66	МГР
72933	1.12	1.45	0.50	SGR 1627-41	МГР
88162	1.47	1.90	0.43	SGR 1900+14	МГР
73467	1.70	2.19	0.65	SGR 1806-20	МГР

Реалистичность этой модели была недавно продемонстрирована в работе Ихсанова и Фингера [13], где было показано, что применение сценария магнито-левитационной аккреции к нейтронным звездам позволяет решить проблему их стремительной ротационной эволюции.

**Остаточный ML-диск вокруг молодой нейтронной звезды.** Сценарий образования нейтронной звезды, в котором ее ротационная эволюция начинается сразу со стадии аккретора (миновав тем самым стадию эжектора и пропеллера) была рассмотрена в работе [14]. В рамках такого подхода АРП и МГР интерпретируются как молодые нейтронные звезды (сравнимые с возрастом остатков вспышек сверхновых, в которые они погружены), начавшие свое существование сразу с аккреционной стадии.

Нейтронная звезда минует стадию эжектора (радиопульсара), если ее начальный период осевого вращения превышает критическое значение для данной стадии, т. е.  $P_0 > P_{cr(ej)}$ , величина которого определяется балансом давления магнитного поля нейтронной звезды и аккрецируемого вещества на радиусе Бонди  $r_G$  [65]:

$$\begin{cases} p_{in} = \frac{L}{4\pi r_G^2 c} \\ p_{out} = \rho v_{rel}^2 \end{cases} \quad (11)$$

Здесь  $L = f_m \mu^2 \omega^4 / c^3$  - мощность магнито-дипольного излучения,  $v_{rel}$  - относительная скорость нейтронной звезды. Решение системы (11) относительно  $\omega$ , дает значение критического периода в случае эжектора [14]:

$$P_{cr(ej)} \approx 0.26 f_m^{1/4} \mu_{30}^{1/2} \dot{M}_{15}^{-1/4} v_8^{-1/4} c \quad (12)$$

где  $\dot{M}_{15} = \dot{M} / 10^{15} \text{ г/с}$  - нормированный темп аккреции,  $v_8 = v_{rel} / 10^8 \text{ см/с}$ ,  $f_m = 1 + \sin^2 \chi$ ,  $\chi$  - угол между магнитным диполем и осью вращения.

Нейтронная звезда минует также и стадию пропеллера, если ее начальный период осевого вращения превышает критический для этой стадии  $P_0 > P_{cr(pr)}$ . Условие реализации такого сценария вытекает из равенства радиуса коротации и радиуса магнитосферы  $r_{cor} = r_{ma}$ , что позволяет оценить критический период нейтронной звезды в случае пропеллера [14]:

$$P_{cr(pr)} \approx 3.5 \mu_{30}^{9/13} m^{-5/13} T_6^{-3/13} \dot{M}_{14}^{-6/13} c \quad (13)$$

где  $m = M_{ns} / 1.4 M_\odot$  - нормированная масса нейтронной звезды.

В этом случае ( $P_0 > P_{cr(pr)}$ ) эволюция нейтронной звезды начнется со стадии аккретора. Согласно статье [15], допустимость рождения нейтронных звезд с большими начальными периодами в рамках современных представлений о начальном периоде вращения, представляется крайне сомнительным.

**Остаточный ML-диск вокруг старой нейтронной звезды.** Достаточно интересный подход в интерпретации происхождения АРП и МГР можно рассмотреть, где эти источники являются нейтронными звездами, родившейся в тесных массивных двойных системах в процессе первой вспышки сверхновой. Предполагается, что это не привело к распаду системы и нейтронная звезда продолжила существование в паре с массивным компаньоном. Исходный период вращения нейтронной звезды составлял доли секунды и увеличивался по мере того, как звезда последовательно проходила состояния эжектора и пропеллера. По мере своей ротационной эволюции нейтронная звезда достигла стадии аккретора, в котором оставалась вплоть до второй вспышки сверхновой, обусловленной коллапсом ядра ее массивного компаньона [15]. Это событие с большой вероятностью привело к распаду системы [14], и старая нейтронная звезда перешла в состояние изолированного пульсара. Остатки от вспышек сверхновых, в которые погружены некоторые АРП и МГР могут быть продуктами конечной стадии эволюции их массивных компаньонов.

Возраст нейтронных звезд, проявляющих себя в настоящую эпоху как АРП и МГР, сопоставим с временем жизни массивной рентгеновской двойной системы (порядка нескольких миллионов лет [15]).

Однако длительность существования данных компактных источников в изолированном состоянии значительно меньше и соответствует времени прошедшему после распада двойной системы. Остаточные аккреционные структуры изолированных нейтронных звезд, проявляющих себя как АРП и МГР могли сформироваться в эпоху их существования в двойных системах из плотного звездного ветра их массивных компаньонов либо в процессе гравитационного захвата вещества после вспышки сверхновой, порожденной на завершающих стадиях эволюции звезды-компаньона.

**Обсуждения. Образование АРП и МГР.** Существует несколько возможных сценариев образования изолированной нейтронной звезды: как конечный продукт эволюции массивной одиночной звезды, либо как результат распада тесной двойной системы.

**Изолированная нейтронная звезда, как потомок массивной одиночной звезды.** Согласно [17], одиночные звезды с массой  $M > 8 - 10 M_\odot$  заканчивают свою эволюцию коллапсом ядра с образованием нейтронной звезды или черной дыры, сопровождающейся вспышкой сверхновой типа *SNII* или *SNIb*,

с энергиями порядка  $10^{51}$  эрг. В свою очередь, тип сверхновой указывает на природу вспыхнувшей звезды, в первом случае это красные сверхгиганты (RSG) либо горячие голубые сверхгиганты (BSG), во втором случае малоизученные звезды Вольфа-Райе (WR). Стоит отметить, что сверхновая SN-1987A, открытая в 1987 г. была первым объектом, отождествленным с голубым сверхгигантом (BSG), до этого момента считалось, что сверхновые второго типа (I) являются результатом вспышки только красных сверхгигантов (RSG) [19]. Поиски нейтронной звезды отождествленной с остатком вспышки SN-1987A пока не увенчались успехом.

В работе [17] также отмечено, что звезды, находящиеся в стадии голубых и красных сверхгигантов, а также звезды Вольфа-Райе обладают достаточно сильным истечением вещества (потерей массы) порядка  $\dot{M} \sim 10^{-4} - 10^{-5} M_{\odot}/\text{год}$ . Следует также отметить, что скорость звездного ветра от RSG существенно меньше ( $v_w \sim 10 - 30$  км/с), чем у BSG и WR для которых  $v_w \sim 10^3$  км/с, но плотность вещества ветра от RSG в окрестностях звезды высока, по сравнению с BSG и WR. Это объясняется тем, что в ходе эволюции горячей звезды в стадию красного сверхгиганта сопровождается резким уменьшением скорости ветра (как показано выше), при незначительном изменении темпа истечения, что в свою очередь и формирует плотную оболочечную структуру, которая в дальнейшем оказывает существенное влияние на эволюцию остатка вспышки (SNR).

В статье [5] рассмотрен вопрос об окружении предсверхновой в случае формирования нейтронной звезды. Отмечено, что большинство наблюдаемых ОВ звезд (80%) находятся в скоплениях, сформированных из гигантских молекулярных облаков ( $10^5 M_{\odot}$ ). Массивные ( $8 M_{\odot}$ ) [13] и обладающие малыми пространственными скоростями  $\sim 4$  км/с ОВ звезды, прародители сверхновых (SN II, SN Ib/c) в течение своего короткого существования (30 млн. лет [14]) не перемещаются на значительные расстояния от места рождения. Поэтому сверхновые от данных массивных звезд в большей степени кластеризованы в пространстве, находясь в гигантских облаках ионизованного водорода H II, с высокой температурой  $10^6$  К и низкой плотностью  $n \sim 10^{-3} \text{ см}^{-3}$ . В статье [5] указывается, что существуют наблюдательные доказательства, что подавляющее большинство 80% нейтронных звезд рождаются в вышеописанной горячей, диффузной межзвездной среде. В работе [15] были приведены результаты наблюдений в спиральных галактиках 49 сверхновых типа SN II и SN Ib. Было показано, что  $72 \pm 10\%$  сверхновых типа SN II и  $68 \pm 12\%$  типа SN Ib находятся в областях гигантских молекулярных облаков H II. Также было подмечено, что эти данные являются нижним пределом, так как представляет большую трудность наблюдение слабых H II областей в далеких галактиках.

В случае АРП и МГР, находящихся в остатках сверхновых (SNR), в статье [4] из анализа зависимости время-радиус SNR авторами было показано, что данные остатки вспышек могут находиться в более плотных областях межзвездной среды ( $n > 0,1 \text{ см}^{-3}$ ), где происходят менее 20% взрывов сверхновых. Данные предположения подтверждаются наблюдениями мазерного ОН излучения, вызванного взаимодействием ударных волн, расширяющихся остатков сверхновых, с молекулярными облаками [16, 17, 18, 19]. В статье [4] указано, что большинство молодых пульсаров рождены в горячих, разряженных, диффузных областях межзвездной среды. Вспышки сверхновых в более плотных средах ( $n > 0,1 \text{ см}^{-3}$ ) составляют не более 20% от общего числа. Авторы цитируемой статьи делают вывод, что состояние нейтронной звезды существенным образом зависит от плотности окружающей межзвездной среды. Образование радиопулсаров, по их мнению, происходит в менее плотных областях межзвездной среды, в которых происходят 80% вспышек сверхновых, образующих нейтронные звезды. Однако, существуют открытые вопросы об образовании АРП и МГР в рамках такого подхода [4]: согласно авторам, на 100 молодых нейтронных звезд должно приходиться примерно 80 радиопулсаров и 20 АРП и МГР. В действительности известных АРП и МГР немногим более двух десятков [3], против нескольких тысяч радиопулсаров [6]. Во-вторых, не все АРП и МГР ассоциированы с остатками вспышек сверхновых [3].

**Вспышка сверхновой в двойной системе.** Эволюция звезд в тесных двойных системах подробно рассмотрена в обзоре [16], а также в прочих работах. Эволюция в тесных двойных системах зависит от таких процессов как: истечение вещества, аккреция, потери системой вещества в целом и углового момента, образование общей оболочки. Сведения об этих процессах позволяют проследить эволюцию в тесной двойной системе от главной последовательности до образования в системе компактных объектов (белых карликов, нейтронных звезд). В эволюции массивных двойных систем, где более массивная звезда (первая компонента системы) обладает массой  $M_1 \geq 8 - 10 M_{\odot}$ , согласно обзору [16], если более массивная компонента системы заполняет свою полость Роша на стадии горения

водорода в ядре (случай А), она начинает терять вещество в тепловой шкале времени. Менее массивный (второй) компонент системы - звезда главной последовательности, не может присоединять вещество с темпом больше  $\dot{M}_2 \approx M_2 / (t_{KH})_2 \approx R_2 L_2 / G M_2$ , превышая который, вероятно образуется общая оболочка [19]. Последующий этап эволюции с общей оболочкой может быть разным: возможны образования полуразделенных систем, у которых отношения масс компонентов соответствуют окончанию кельвиновской стадии обмена веществом:  $M_1 / M_2 \approx 0.6$ , также возможен случай, когда обе компоненты остаются в общей оболочке. Первичная компонента в таком случае продолжает терять вещество, которое частично попадает в общую оболочку и теряется системой. Расстояние между компонентами может возрастать, если удельный момент вещества, покидающего систему меньше среднего. Если вторичная компонента станет более массивной чем первичная, она обгонит первичную в своей эволюции. В результате сброса оболочки на стадии горения водорода в слое более массивная компонента превратится в звезду Вольфа-Райе. Вторая звезда останется звездой главной последовательности с массой не меньше, чем масса конвективного ядра однородной модели ( $M \geq 2M_\odot$ ). Такой путь эволюции - одна из возможностей образования нейтронной звезды и маломассивной звезды главной последовательности. Продолжительность обмена веществом для случая А, сравнима с временем горения водорода в ядрах массивных звезд  $t_H \approx 10^{8.2} / (M_1 / M_\odot)$  лет. Также по мнению авторов цитируемого обзора: конкретный путь эволюции зависит от содержания водорода в ядре первичной компоненты в момент заполнения полости Роша. В обзоре также упоминается возможность слияния компонент, образуя более массивную звезду Of.

В обзоре [16] рассмотрен также сценарий эволюции массивной двойной системы, когда один из компаньонов заполняет свою полость Роша на стадии горения водорода в слоевом источнике (случай Б). Стадия обмена веществом длится  $t_B \approx 10^{6.3}$  до потери первичным компонентом большей части (70-90%) водородной оболочки. Сжатие остатков водородной оболочки приводит к повышению эффективной температуры звезды до  $T_{eff} \approx 10^{4.9} K$ . В высокотемпературной области диаграммы Герцшпрунга-Рессела звезда остается все время горения He в ядре  $\sim 0.1 t_H$ . Гелиевые звезды с тонкими водородными оболочками обычно рассматриваются в качестве моделей звезд Вольфа-Райе (WR). Авторы также делают вывод на основании наблюдаемых данных и статистическом распределении звезд, что все первичные компоненты с массами  $M_1 \geq 20M_\odot$  должны пройти стадию WR. Эволюция гелиевых звезд зависит от массы образующихся у них CO-ядра. В обзоре приведено соотношение:  $M_{co} / M_\odot \approx 0.45$ . Звезды с  $0.45 \leq M_{co} / M_\odot \leq 1.4$  после выгорания He расширяются, повторно заполняют полость Роша и теряют практически всю (50% массы), превращаясь в белые CO-карлики. Звезды с массами  $10M_\odot \leq M \leq 12M_\odot$  могут превратиться в O-Ne-Mg - белые карлики. Авторы обзора делают важный вывод, что  $10 - 12M_\odot$  - нижний предел масс звезд в двойных системах, порождающие нейтронные звезды. После выгорания гелия в ядре, в последствие идут реакции с выгоранием углерода - кислорода - неона. Авторы указывают на то, что звезда может терять вещество через звездный ветер при повторных заполнениях полости Роша, следовательно оболочки массивных звезд, в тесных двойных системах, менее протяженные, чем у одиночных звезд. Взрыв сверхновой приводит к образованию релятивистского остатка: нейтронной звезды или черной дыры. По мнению авторов система после взрыва не должна распасться, так как коллапсирует, как правило, менее массивная ее компонента.

**Вспышка сверхновой в массивной рентгеновской двойной системе.** В предшествующей главе было детально разобрано формирование двойной системы с нейтронной звездой. И как было уже упомянуто выше, взрыв сверхновой с образованием первого релятивистского остатка может не приводить к распаду системы. Дальнейшая эволюция такой системы рассмотрена в статьях [16].

Согласно обзору [16], время жизни рентгеновских источников в массивных двойных системах составляет  $10^3 - 10^4$  лет. В дальнейшем массивный оптический компонент системы после заполнения своей полости Роша, начинает терять вещество в тепловой шкале времени с характерной скоростью  $10^3 - 10^4 M_\odot / \text{год}$ , что соответствует темпам истечения вещества у некоторых голубых сверхгигантов. Согласно [18], критический темп аккреции на нейтронную звезду составляет  $10^4 M_\odot / \text{год}$ . Так как нейтронная звезда не способна принять все вещество, поставляемое оптическим компаньоном, то возможно образование системы, состоящей из нейтронной звезды и звезды Вольфа-Райе с общей оболочкой.

После второго взрыва сверхновой более вероятен распад системы, так как коллапсирует более массивная компонента, хотя возможны случаи сохранения системы, состоящей после вспышки из двух нейтронных звезд (например PSR 1913+16) [16].

**Заключение.** Особые подклассы изолированных нейтронных звезд, представленных аномальными рентгеновскими пульсарами и мягкими гамма-репитерами могут являться продуктами эволюции массивных двойных систем. Где изначально нейтронная звезда образовалась на конечном этапе эволюции одного из компонент системы в процессе коллапса его ядра и вспышки сверхновой, произошедших на масштабах несколько миллионов лет назад. После вспышки сверхновой от первого компаньона система не распалась, а продолжила свое существование в виде двойной системы - нейтронной звезды в паре с массивной невырожденной звездой. В этом случае нейтронная звезда на масштабе нескольких миллионов лет успевает пройти все этапы своей ротационной эволюции, начиная от стадии эжектора до аккретора (рентгеновского пульсара), образуя на конечных стадиях массивную рентгеновскую двойную систему, где аккреционные структуры нейтронной звезды сформировались из плотного звездного ветра ее массивного компаньона. Однако, на последних стадиях эволюции массивного компонента системы в результате его вспышки сверхновой двойная система могла распасться. Вследствие этого старая нейтронная звезда (продукт эволюции первого компаньона) оказалась погруженной в молодой остаток от вспышки сверхновой (продукт взрыва второго компаньона). Время существования нейтронной звезды в стадии аккретора зависит от физических характеристик аккрецируемого вещества. Аккреционные структуры, обладающие собственным магнитным полем, могут существенно отличаться от классических структур в немагнитном приближении (сферическая и аккреция из Кеплеровского диска). Учет магнитного поля аккреционного потока в рамках сценария магнито-левитационной аккреции позволяет наилучшим образом интерпретировать наблюдаемые физические характеристики АРП и МГ. В этом подходе параметры АРП и МГР остаются в рамках канонических значений, принятых для нейтронных звезд.

**Благодарности.** Работа выполнена при поддержке Комитета науки МОН РК (Грант № AP09258811).

#### Information about the author:

**Vitaliy Kim** – candidate of physics and mathematics science, senior researcher at the Laboratory of physics of stars and nebulae at Fesenkov Astrophysical Institute. E-mail: kim@aphi.kz, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-1202-9751>.

#### REFERENCES

- [1] Mereghetti S. (2008) The strongest cosmic magnets: soft gamma-ray repeaters and anomalous X-ray pulsars, *Astronomy and Astrophysics Review*, 15: 225-287. DOI: 10.1007/s00159-008-0011-z (in Eng.).
- [2] Kouveliotou C., Dieters S., Strohmayer T. (1998) An X-ray pulsar with a superstrong magnetic field in the soft  $\gamma$ -ray repeater SGR1806 – 20, *Nature*, 393:235-237. DOI: 10.1038/30410 (in Eng.).
- [3] McGill online catalogue: <http://www.physics.mcgill.ca/~pulsar/magnetar/main.html>.
- [4] Fahlman G.G., Gregory P.C. (1981) An X-ray pulsar in SNR G109.1-1.0, *Nature*, 293: 202-204. DOI: 10.1038/293202a0 (in Eng.).
- [5] Marsden D., Lingefelter R.E., Rothschild R.E., Higdon J.C. (2001) Nature versus Nurture: The Origin of Soft Gamma-Ray Repeaters and Anomalous X-Ray Pulsars, *The Astrophysical Journal*, 550: 397-409. DOI: 10.1086/319701 (in Eng.).
- [6] ATNF Pulsar Catalogue: <https://www.atnf.csiro.au/people/pulsar/psrcat/>
- [7] Fahlman G.G., Gregory P.C., Middleditch J., Hickson P., Richer H.B. (1982) A possible optical counterpart to the X-ray pulsar 1E 2259+586, *The Astrophysical Journal*, 261: L1-L5. DOI: 10.1086/183878 (in Eng.).
- [8] Ikhsanov N.R., Beskrovnaya N.G. (2013) The spin-down mechanism of the X-ray pulsar 4U 2206+54, *Astronomy Reports*, 57: 287-293. DOI: 10.1134/S1063772913030013 (in Eng.).
- [9] Ghosh P., Angelini L., White N.E. (1997) The Nature of the “6 Second” and Related X-Ray Pulsars: Evolutionary and Dynamical Considerations, *The Astrophysical Journal*, 478: 713-722. DOI: 10.1086/303833 (in Eng.).
- [10] Bisnovatyi-Kogan G.S., Ikhsanov N.R. (2014) A new look at anomalous X-ray Pulsars, *Astronomy Reports*, 58: 217-227. DOI: 10.1134/S1063772914040039 (in Eng.).
- [11] Chatterjee P., Hernquist L., Narayan R. (2000) An Accretion Model for Anomalous X-Ray Pulsars, *The Astrophysical Journal*, 534: 373-379. DOI: 10.1086/308748 (in Eng.).
- [12] van Paradijs J., Taam R., van den Heuvel E. (1995) On the nature of the ‘anomalous’ 6-s X-ray pulsars, *Astronomy and Astrophysics*, 299: L41-L44 (in Eng.).

[13] Ikhsanov N., Finger M. (2012) Signs of Magnetic Accretion in the X-Ray Pulsar Binary GX 301-2, *The Astrophysical Journal*, 753: 1-8. DOI: 10.1088/0004-637X/753/1/1 (in Eng.).

[14] Ikhsanov N.R., Kim V.Yu., Beskrovnaya N.G., Pustil'nik L.A. (2013) A new look at the origin of the 6.67 hr period X-ray pulsar 1E 161348-5055, *Astrophysics and Space Science*, 346: 105-109. DOI: 10.1007/s10509-013-1422-5 (in Eng.).

[15] Ikhsanov N.R., Kim V.Yu., Beskrovnaya N.G. (2015) A scenario of the formation of isolated X-ray pulsars with anomalously long period, *Astronomy Reports*, 59: 25–32. DOI: 10.1134/S1063772915010059 (in Eng.).

[16] Yungelson L.R., Masevitch A.G. (1983) Evolution in close binary systems, *Soviet Scientific Reviews*, 2: 29–74 (in Eng.).

[17] Lozinskaya T.A. (2012) Explosions of stars and stellar wind in galaxies. URSS, Russia. ISBN 978-5-397-03582-8 (in Russ.)

[18] van den Heuvel, De Loore C. (1973) Decrease in Binary Period of Centaurus X-3 and Possible Implications in Terms of Mass Loss, *Astronomy and Astrophysics*, 25:387-395. DOI: 10.1038/physci245117a0 (in Eng.).

[19] Paczynski B. Structure and evolution of close binary systems, *Proceedings of Symposium no.73 of the International Astronomical Union, Cambridge, Great Britain* (in Eng.).

[20] Hillebrandt W., Hoefflich P. Weiss A., Truran J.W. (1987) Explosion of a blue supergiant: a model for supernova SN1987A, *Nature*, 327: 597-600. DOI: 10.1038/327597a0 (in Eng.).

**REPORTS OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES  
OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN  
ISSN 2224-5227**

Volume 1, Number 341 (2022), 84-93

<https://doi.org/10.32014/2022.2518-1483.136>

UDC 661.92

HTAMP (MPHTI) 87.15.09

**M. Yessenamanova<sup>1\*</sup>, A. Anuarbekova<sup>1</sup>, D. Ryskalieva<sup>2</sup>, Zh. Yessenamanova<sup>1</sup>, A.E. Tlepbergenova<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Kh. Dosmukhamedov Atyrau University, Atyrau, Kazakhstan;

<sup>2</sup>Sh. Yessenov Caspian University of Technology and Engineering, Aktau, Kazakhstan.

E-mail: mansiya.73@mail.ru

**ANALYSIS OF EMISSIONS OF POLLUTANTS INTO THE ATMOSPHERE FOR THE  
FACILITIES OF TENGIZCHEVROIL LLP IN ATYRAU REGION**

**Abstract.** The article analyzes the volume of emissions of pollutants from flare installations of Tengizchevroil LLP facilities. The facilities of Tengizchevroil LLP include 4 main groups: production and transportation facilities of the extracted products; oil and gas treatment facilities; a second-generation installation and TCO maintenance and life support facilities. Sources of production facilities of Tengizchevroil LLP in 2019-2021 emit pollutants of 99 hazard class 1-4 names into the atmospheric air, of which 11 substances have a summing effect when they are present in the atmospheric air together. According to the analysis, the dominant pollutants in the total emissions from TCO facilities are Carbon monoxide and sulfur dioxide. The maximum values of carbon monoxide emissions are characteristic of flare installations for pumping crude gas and oil production and an Integrated processing line. Emissions of sulfur dioxide from flare installations for pumping crude gas and oil production are tens and hundreds of times higher than emissions of other pollutants from other installations. In second place are the volumes of sulfur dioxide emissions from flare installations of the Integrated Production Line. In third place are sulfur dioxide emissions from Second-generation flare installations, where the volume of emissions is about 700-800 tons/year, which is 20 times less than emissions from flare installations for pumping crude gas and oil production. An analysis of the total volume of all pollutants from TCO flare installations shows that the main suppliers of pollutants are a flare installation for pumping crude gas and oil production. Emissions of the total volume of all pollutants from Second-generation flare installations are approximately 2 times less than from flare installations of the Integrated Process Line. The lowest values are typical for emissions from external objects and are more than a hundred times more than from flare installations for pumping crude gas and oil production.

**Key words:** emissions, pollutants, flare installations, carbon monoxide, sulfur dioxide.

**М.С. Есенаманова<sup>1\*</sup>, А. Ануарбекова<sup>1</sup>, Д. Рыскалиева<sup>2</sup>, Ж.С. Есенаманова<sup>1</sup>, А.Е. Тлепбергенова<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Х. Досмұхамедов атындағы Атырау университеті, Атырау, Қазақстан;

<sup>2</sup>Ш. Есенов атындағы Каспий технологиялар және инжиниринг университеті, Ақтау, Қазақстан.

E-mail: mansiya.73@mail.ru

**АТЫРАУ ОБЛЫСЫНДАҒЫ «ТЕНІЗШЕВРОЙЛ» ЖШС НЫСАНДАРЫНАН АТМОСФЕРАҒА  
ШЫҒАТЫН ЛАСТАУШЫ ЗАТТАРДЫҢ ШЫҒАРЫНДЫЛАРЫН ТАЛДАУ**

**Аннотация.** Мақалада «Тенішевройл» ЖШС объектілерінің алау қондырғыларынан ластаушы заттар шығарындыларының көлемі талданады. «Тенішевройл» ЖШС объектілері 4 негізгі топты қамтиды: өндірілген өнімді өндіру және тасымалдау объектілері; Мұнай және газ дайындау объектілері; екінші буын қондырғысы және ТШО-ның техникалық қызмет көрсету және тіршілікті қамтамасыз ету объектілері. «Тенішевройл» ЖШС өндірістік объектілерінің көздері 2019-2021 жылдары 1-4 қауіптілік дәрежесінің 99 атауындағы ластаушы заттарды атмосфералық ауаға шығарады, олардың 11-і атмосфералық ауада бірге болған кезде жиынтық әсер етеді. Талдауға сәйкес, ТШО нысандарының шығарындыларының жалпы көлемінде басым ластаушылар көміртегі тотығы және күкірт диоксиді

болып табылады. Көміртегі тотығы шығарындыларының максималды мәні шикі газды айдауға, мұнай өндіруге және интеграцияланған технологиялық желіге арналған Алау қондырғыларына тән. Шикі газды айдауға және мұнай өндіруге арналған Алау қондырғыларынан күкірт диоксидінің шығарындылары басқа қондырғылардан басқа ластаушы заттардың шығарындыларынан ондаған және жүздеген есе асып түседі. Екінші орында біріктірілген өндірістік желінің алау қондырғыларынан күкірт диоксиді шығарындыларының көлемі. Үшінші орында екінші буынды алау қондырғыларынан күкірт диоксидінің шығарындылары тұр, мұнда шығарындылар көлемі жылына шамамен 700-800 тоннаны құрайды, бұл шикі газды айдауға және мұнай өндіруге арналған Алау қондырғыларынан шығарындылардан 20 есе аз. ТШО алау қондырғыларынан шығатын барлық ластаушы заттардың жалпы көлемін талдау ластаушы заттардың негізгі жеткізушілері шикі газды айдауға және мұнай өндіруге арналған Алау қондырғылары болып табылатынын көрсетті. Екінші буынды алау қондырғыларынан барлық ластаушы заттардың жалпы шығарындылары біріктірілген Технологиялық желінің алау қондырғыларына қарағанда шамамен 2 есе аз. Ең төменгі мәндер сыртқы нысандардан шығарындыларға тән және шикі газды айдауға және мұнай өндіруге арналған Алау қондырғыларынан жүз есе көп.

**Түйін сөздер:** шығарындылар көлемі, ластаушы заттар, алау қондырғылары, көміртегі тотығы, күкірт диоксиді.

**М.С. Есенаманова<sup>1\*</sup>, А. Ануарбекова<sup>1</sup>, Д. Рыскалиева<sup>2</sup>, Ж.С. Есенаманова<sup>1</sup>, А.Е. Глепбергенова<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Атырауский университет имени Х.Досмухамедова, Атырау, Казахстан;

<sup>2</sup>Каспийский университет технологий и инжиниринга им. Ш.Есенова, Актау, Казахстан.

E-mail: mansiya.73@mail.ru

#### **АНАЛИЗ ВЫБРОСОВ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В АТМОСФЕРУ ДЛЯ ОБЪЕКТОВ ТОО «ТЕНГИЗШЕВРОЙЛ» В АТЫРАУСКОЙ ОБЛАСТИ**

**Аннотация.** В статье анализируется объем выбросов загрязняющих веществ от факельных установок объектов ТОО «Тенгизшевройл». Месторождение Тенгиз, открытое в 1979 году, является одним из самых глубоких и крупных нефтяных месторождений в мире - сверхгигантом, верхний нефтяной пласт которого залегает на глубине около 4000 метров. Основными видами деятельности ТШО являются добыча и продажа углеводородов и серы. Лицензионная площадь проекта включает огромное месторождение Тенгиз и меньшее, но со значительными запасами, Королевское месторождение. Нефть Тенгизского месторождения характеризуется как легкая, сернистая, малосмолистая, малопарафинистая. Объекты ТОО «Тенгизшевройл» включают 4 основные группы: объекты добычи и транспортировки добытой продукции; объекты подготовки нефти и газа; установка второго поколения и объекты обслуживания и жизнеобеспечения ТШО. Источники производственных объектов ТОО «Тенгизшевройл» в 2019-2021 годах выбрасывают в атмосферный воздух загрязняющие вещества 99 наименований класса опасности 1-4, из которых 11 веществ оказывают суммирующее действие, когда они присутствуют в атмосферном воздухе вместе и образуют 11 суммирующих групп. К этим веществам относятся: Диоксид азота (IV), Оксид азота (II), Углерод, Диоксид серы, Сероводород, Окись углерода, Метан, 1-Бутантиол, Метантиол, Пропан-1-тиол, Этанол. Согласно проведенного анализа видно, что доминирующими загрязняющими веществами в общем объеме выбросов с объектов ТШО являются Окись углерода и Диоксид серы. Максимальные значения объемов выбросов окиси углерода характерны от факельных установок для закачки сырого газа и добычи нефти и интегрированной технологической линии. Выбросы окиси углерода от факельных установок для закачки сырого газа и добычи нефти постепенно увеличиваются, начиная с 2018 года от 2079,094689 т/год до 4118,536538 и 4102,958838 т/год в 2020 и 2021 годах соответственно. Выбросы окиси углерода от факельных установок Интегрированной технологической линии наоборот характеризуются тенденцией уменьшения объема с 3678,4869 т/год в 2018 году и 3903.0645 т/год в 2019 году до 3345,7597 в 2020 году и 3412,2803 т/год в 2021 году соответственно. Выбросы окиси углерода от факельных установок Второго поколения не имеют системности и находятся около 1589,9833 т/год в 2021 году до 1887,9457 т/год в 2020 году. Выбросы окиси углерода от установок внешних объектов находится на одном уровне в пределах около 200-220 т/год. Выбросы диоксида серы от факельных установок для закачки сырого газа и добычи нефти в десятки и сотни раз превышают выбросы других

загрязняющих веществ и от других установок. Объем выбросов диоксида серы увеличивается с каждым годом и составляют от 17265,88055 т/год в 2018 году и 34722,9255 т/год в 2021 году. Самые минимальные значения характерны для выбросов внешних объектов и составляют от 247,0662877 в 2020 году до 275,3908474 т/год в 2019 году, что более чем в сто раз больше, чем от факельных установок для закачки сырого газа и добычи нефти.

**Ключевые слова:** объем выбросов, загрязняющие вещества, факельные установки, окись углерода, диоксид серы.

**Introduction.** In fact, air pollution in Kazakhstan caused by many factors. The first is the recent increase in mining and processing of minerals. The second cause of air pollution is the combustion of gases during the extraction of oil and natural gas. This accompanied by soot emissions. Manufacturers have found that the cost of burning gas is lower than the cost of cleaning gas, which leads to air pollution with carbon dioxide. The next factor is the dispersion of emissions from industrial enterprises in the production process during the combustion of industrial products [1].

The Tengiz field, discovered in 1979, is one of the deepest and largest oil fields in the world - a supergiant, the upper oil layer of which lies at a depth of about 4000 meters. The Tengiz reservoir stretches for 19 km in length and 21 km in width. The capacity of the oil column is 1.6 km.

In 1993, the Government of the Republic of Kazakhstan established Tengizchevroil LLP (TCO) together with Chevron. To date, four companies are already partners: JSC NC KazMunayGas (20%), Chevron Overseas (50%), ExxonMobil (25%) and Lukarko (5%).

The main activities of TCO are the extraction and sale of hydrocarbons and sulfur. The licensed area of the project includes the huge Tengiz field and the smaller, but with significant reserves, the Royal field [2].

The oil of the Tengiz field is characterized as light, sulfurous, low-tar, low-paraffin.

The objects of Tengizchevroil LLP in Atyrau region can divide into 4 main groups:

- Oil production facilities of the Tengiz field and the Royal field
- Production and transportation of the extracted products;
- Gas Processing Plant - oil and gas treatment;
- Second-generation installation (SGI) - oil and gas treatment;
- External facilities – TCO maintenance and life support facilities.

External facilities also include boiler rooms designed for heating the central office, hotel and residential complex in Atyrau.

Tengizchevroil LLP includes 2 oil fields – Tengiz and Korolevskoye.

At the Tengiz and Royal oil fields, the configuration of the wellhead equipment is identical.

The system for collecting produced products at the Tengiz and Korolevskoye fields can divide into 2 groups: the basic oil collection system (BOCS) and the new generation collection system (NGCS).

The basic oil collection system includes 9 GZU at the Tengiz field, collecting oil fluid from 56 wells, and 1 GZU at the Korolevskoye field (KGZU 1), collecting extracted products from 3 wells.

Sources of production facilities of Tengizchevroil LLP in 2019-2021 emit pollutants of 99 names of hazard class 1-4 into the atmospheric air, of which 11 substances have a summing effect when they are present in the atmospheric air together and form 11 summation groups [3].

Salvo emissions are intended short-term emissions that are many times higher in power than average production emissions. Their presence is provided by the technology of work and is due to the conduct of certain stages of certain technological processes.

**Materials and methods.** The inventory of existing sources of emissions is the first stage of the development of the draft standards of maximum permissible emissions, the need for which arose in connection with the clarification of the number of sources of emissions of pollutants into the atmosphere, the operating mode of the facilities of Tengizchevroil LLP, which is due to the constant development of the Tengiz and Korolevskoye fields.

The paper identifies and analyzes the characteristics of the sources of emissions and emissions of pollutants into the atmosphere at the time of the inventory for all objects of Tengizchevroil LLP.

When carrying out dispersion calculations for the normal operating mode, backup and salvo sources of pollutant emissions were excluded [4].

On flare installations, for this mode, the combustion of purge and pilot gas is taken into account, as well as the combustion of raw gas, desulfurized gas and dry gas.

The calculation was carried out for a rectangle with the parameters: length (on the X axis) = 55000

m, width (on the Y axis) = 65000 m, with a grid step = 500 m. Coordinates of the center of the calculated rectangle X= 90300 m, Y= 112475 m.

Of all pollutants, as well as groups of substances that have a summation effect when they are present together, the highest concentrations at the SPZ boundary are observed for Carbon dioxide and Sulfur oxide and, respectively, for summation groups.

**Results and discussion.** The list of summation groups with the indication of substances having a summing effect is presented in Table 1.

Table 1 - Summation groups and substances with summative effect

Summation group number	Pollutant code	Name of the pollutant
1	2	3
03, 04, 05	0303	Ammonia
03, 04, 30, 39	0333	Hydrogen sulfide
04, 05, 24, 39	1325	Formaldehyde
24	0301	Nitrogen (IV) dioxide
24	0326	Ozone
27, 28, 30, 31, 35, 81	0330	Sulfur dioxide
28, 40	0322	Sulfuric acid
35, 71	0342	Fluoride gaseous compounds
40	0302	Nitric acid
40	0316	Hydrochloride
71	0344	Fluorides are poorly soluble

During the operation of the facilities of Tengizchevroil LLP, volleys of SV emissions into the atmosphere are possible due to the discharge of gas to flare systems during maintenance and failure of technological equipment, deviation from normal operation and complete purging of equipment and pipelines. Gas will discharge to flare systems only in cases stipulated by the Associated Gas Processing Development Program at the fields of Tengizchevroil LLP for the period 2019-2021 for the safety of personnel and environmental protection, that is, in cases of technologically unavoidable gas combustion. The volume of technologically unavoidable gas combustion is individual for each field and depends on the specific technological and geometric parameters (diameter, length) of gas pipelines for various purposes, the technological mode of operation of equipment and installations, technical characteristics of equipment, as well as operating conditions described in the regulations and operating instructions of installations used by subsoil users at all stages of the technological process of extraction, transportation, preparation, processing and combustion of gas. Such incineration includes various options for the combustion of reservoir, crude, acidic, desulfurized, dry, fuel gas, as well as LPG - propane and butane. Examples of such incineration include, but are not limited to the following [5]:

- The supply of desulfurized gas to the flare due to a temporary deterioration in gas purification (an increase in the H<sub>2</sub>S content above 20 ppm), which may be caused by technological reasons. In order to avoid the leakage of H<sub>2</sub>S into the main gas pipeline, an automatic termination of the supply of substandard desulfurized gas and its redirection to the flare system provided;

- Discharge of the fuel gas of the gas cushion of the tank of substandard oil T-200 to the flare. Maintaining the gas cushion in the steam space ensures the presence of an explosion-proof environment in the tank, and also minimizes the evaporation of gas components from oil;

- Discharge of gases to the torch due to short-term technical problems, when the multi-stage automatic protection system installed by the project stops the equipment upon reaching the lockout setting. For example, this happens for the following reasons:

- \* Power outages;
- \* stopping the supply of raw materials;
- \* Termination of the KIP air supply;
- \* Termination of supply of technical, cooling, technological hot water;
- \* Termination of steam supply;
- \* stopping of the equipment when the lock is triggered;
- \* Failure of controls and regulation.

In such situations, to prevent the creation of overpressure, the gas discharged onto the torch to protect technological equipment, personnel and the environment. Discharge of gases to the flare from installations

due to the stoppage of gas supply to external consumers due to external reasons beyond the control of the enterprise.

Reducing the pressure of liquefied gas from the filling hoses allows safely disconnect them after the completion of the filling process of tanks. As well as any discharges of raw, dry, desulfurized or fuel gases for the Injection of raw gas.

Discharge of instantaneous evaporation crude gas from a closed drainage system: When hydrocarbons drained from equipment and pipelines into a closed drainage system, the pressure decreases from the operating value in the apparatus/pipelines to the pressure of the closed drainage system, resulting in degassing of hydrocarbons and the released gas flared [6].

Discharge of butane and propane caused by technological reasons, such as: temporary deterioration of changes in the purification of propane/butane at installations or during the drainage of butane from the bulites of the Goods Fleet.

During the commissioning of the equipment after repair, short-term technical problems may occur and a multi-stage automatic protection system stops the equipment upon reaching the lockout setting. In such situations, to prevent the creation of overpressure, the gas discharged onto the torch to protect the process equipment.

When the compressor stops and the multi-stage automatic protection system triggered during shutdown/start-up after major repairs and during maintenance, which carried out on various equipment and installations, selectively, throughout the year.

The inevitability of such discharges confirmed by the statistical data of the OREDA database, based on the experience of large oil and gas companies, in which all cases of technical failures and their frequency recorded during the operation of oil equipment of large fields. Ensuring safety is due to the need for technologically unavoidable flaring of gas and none of the above scenarios is an accident and does not lead to accidental emissions and/or accidental pollution of the environment.

Since 2008, the field pipelines and discharge lines have replaced at the Tengiz field [7]. When performing these repairs and during the cleaning of pipelines, as well as in other cases of salvo emissions, the field gas will discharge to the fuel storage and CPM flares. Based on the above, a certain amount of emissions of pollutants into the environment during incineration attributed to salvo emissions, since: these emissions are necessary for the normal operation of the equipment of the enterprise, will be carried out in accordance with technological regulations and technical instructions for the safe production of repair and commissioning works [8]. While emergency emissions are sudden, unintended and uncontrolled emissions that occurred because of explosions, fires, destruction of buildings, structures and mechanisms. Based on the above, for sources of pollution – flare installations of the existing KTL, ZVP/ZSG, External facilities and Fishing – emissions of pollutants resulting from routine and volley combustion of hydrocarbon gases are proposed for rationing.

Multiple sources of emissions also include exhaust pipes of generators for backup power supply and fire pumps installed at technological sites.

To reduce the risk of industrial accidents and to minimize their damage company developed a set of measures to ensure the security, suppression and containment of accidents [9].

The total volume of emissions of pollutants into the atmosphere from TCO flares presented in Figures 1-4.

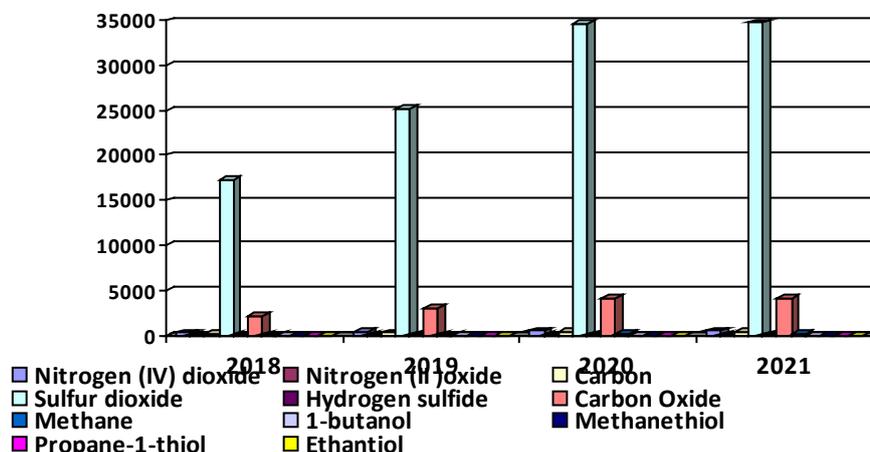


Figure 1 - Emissions of pollutants from Crude Gas Injection flares and Oil Production

As can be seen from Figure 1, among the 11 pollutants entering the atmosphere from Crude Gas Injection flares and Oil Production, the maximum emissions are characteristic of sulfur dioxide (from 17265.88055 tons/year in 2018 with an annual increase to 34722.9255 tons/year in 2021), and the lowest in the amount of less than 0.1 tons/year of pollutants for 1-Butanethiol, Methanethiol, Propane-1-thiol and Ethanethiol. In second place in terms of emissions is carbon monoxide, whose emissions range from 2079.094,689 in 2018 to 4118.536,5538 tons/year in 2020 [10].

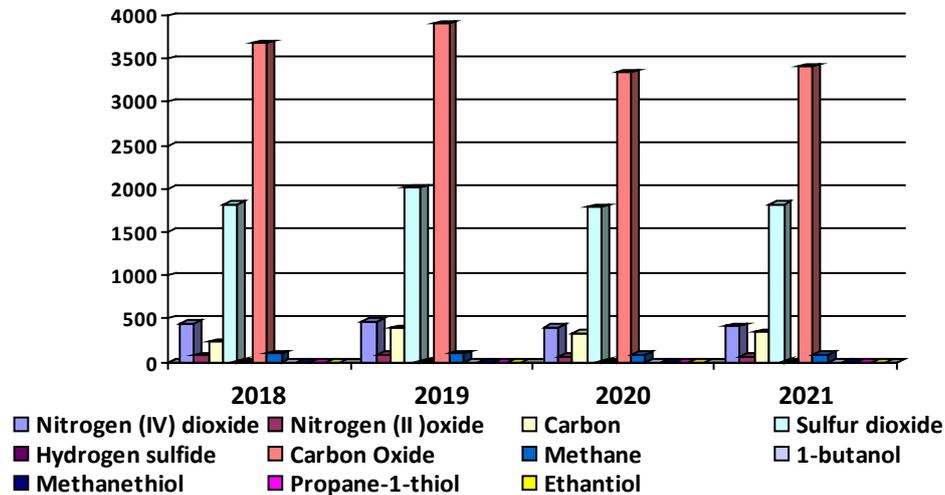


Figure 2 - Emissions of pollutants from the flares of the Integrated Process Line

Figure 2 shows the volume of pollutant emissions from the flares of the Integrated Process Line, where Carbon Monoxide and Sulfur dioxide are also the dominant pollutants, but here, unlike the previous installation, the maximum values are characteristic of Carbon Monoxide in the range of 3345.7597 t/year in 2020 and 3903.0645 t/year in 2019. The volume of Sulfur dioxide emissions is almost twice less than Carbon Monoxide at the level of 1784.8329 tons/year (in 2020) to 2012.2975 tons/year in 2019. Minimum values of less than 0.1 t/year are also typical for 1-Butanediol, Methanethiol, Propane-1-thiol and Ethanediol [11].

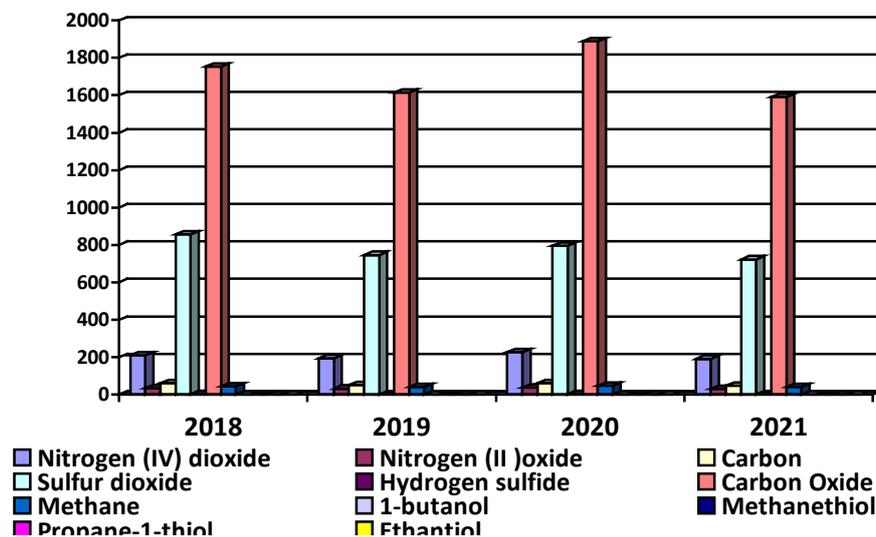


Figure 3 - Emissions of pollutants from flares of the Second Generation Plant

According to Figure 3, the same pollutants are dominant in the volume of pollutant emissions from Second-generation flare installations: Carbon Monoxide and Sulfur dioxide. The volume of Carbon Monoxide emissions (ranging from 1589.9833 tons/year in 2021 to 1887.9457 tons/year in 2020) as well as from the Integrated Process Line flares is more than twice the volume of Sulfur dioxide emissions (722.0831863 tons/year in 2021 to 856.336213 tons/year in 2018). The volume of emissions of 1-Butanediol, Methanethiol, Propane-1-thiol and Ethanediol is about 0.1 and less tons per year [12].

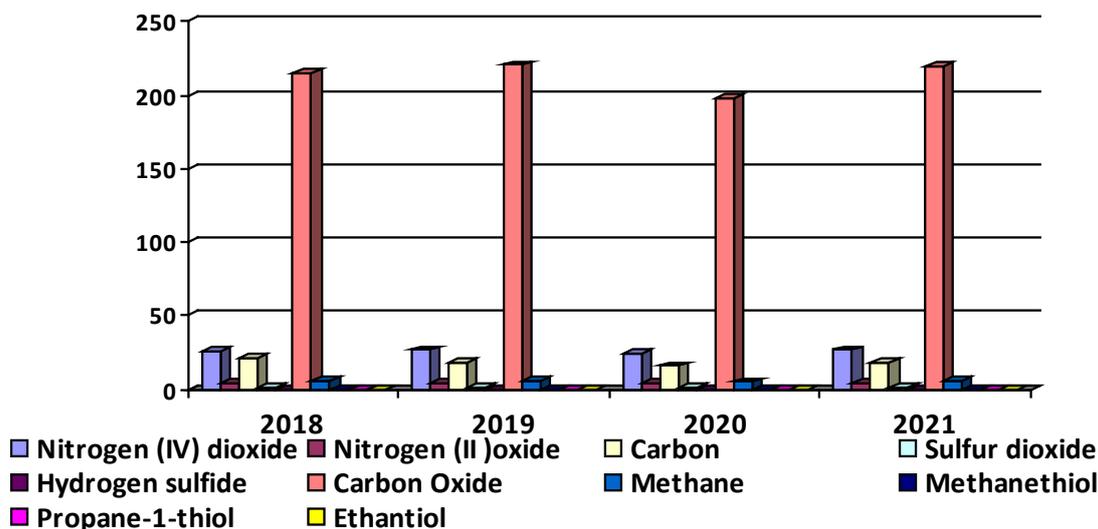


Figure 4 - Emissions of pollutants from flares of External objects

Figure 4 shows the emissions of pollutants from the emissions of external facilities, where Carbon Monoxide emissions prevail by more than 10 times the volume of Nitrogen Dioxide and Carbon emissions and by more than 200 times the remaining pollutants. The volume of Carbon Monoxide emissions ranges from 198,0033 tons/year in 2020 to 220,4712 tons/year in 2019. The volume of emissions of Methanethiol, Propane-1-thiol and Ethanediol is less than 0.001 t/year, and in terms of Propane-1-thiol emissions, the volume of emissions has been zero in the last three years.

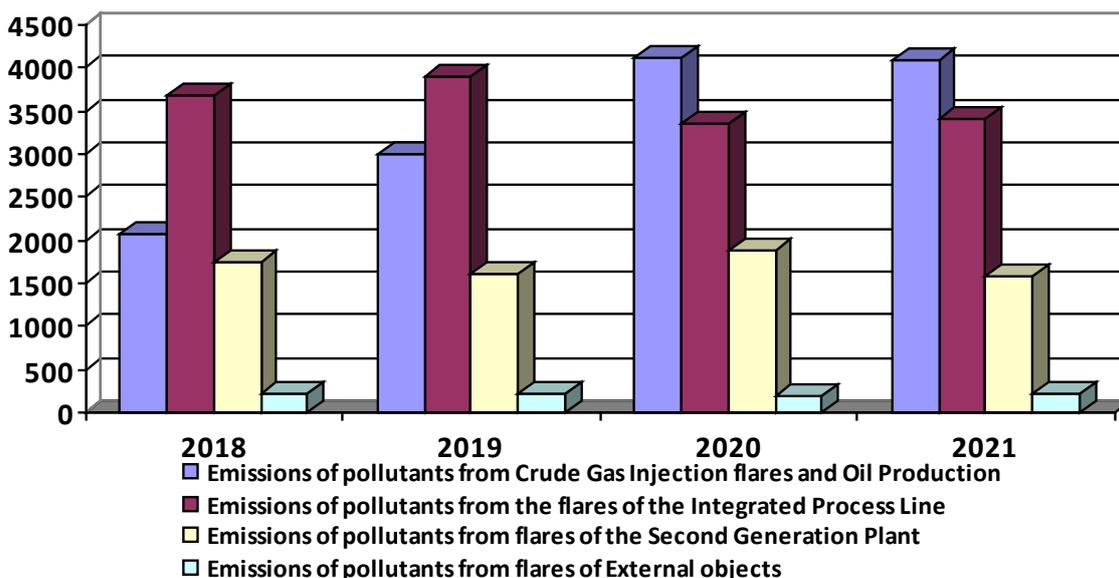


Figure 5 - Emissions of Carbon Oxide from TCO flares

According to the first four figures, we see that the dominant pollutants in the total emissions from TCO facilities are Carbon Monoxide and Sulfur Dioxide, which analyzed in Figures 5 and 6. In Figure 5, we will look at Carbon Monoxide emissions from all TCO facilities. The maximum values of Carbon monoxide emissions are characteristic of flare installations for crude gas injection and oil production and an Integrated Process Line. Emissions from flare installations for crude gas injection and oil production are gradually increasing starting in 2018 from 2079,094,689 tons/year to 4118,536,538 and 4102,958838 tons/year in 2020 and 2021, respectively. Emissions from flare installations of the Integrated Process Line, on the contrary characterized by a tendency to decrease in volume from 3678.4869 tons/year in 2018 and 3903.0645 tons/year in 2019 to 3345.7597 in 2020 and 3412.2803 tons/year in 2021, respectively. Emissions of pollutants from second-generation flare installations have no consistency and range from 1589.9833 tons/year in 2021 to 1887.9457 tons/year in 2020. Carbon Monoxide emissions from installations of external facilities are at the same level in the range of about 200-220 tons/year and does not have a systematic change in emissions [13].

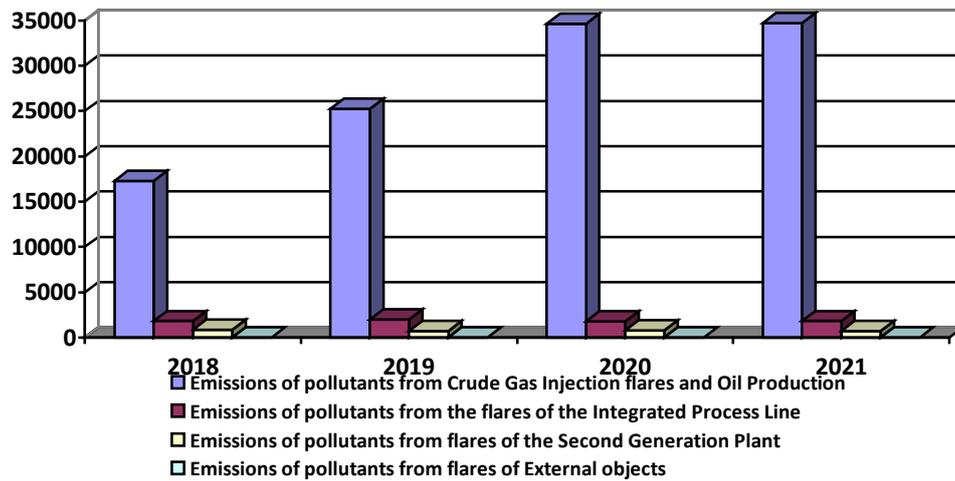


Figure 6 - Emissions of Sulfur dioxide from TCO flares

Sulfur dioxide emissions from TCO flare installations, shown in Figure 6, show that the dominant emissions are pollutants from flare installations for pumping crude gas and oil production, which are tens and hundreds of times higher than emissions of other pollutants from other installations [14]. The volume of emissions increases every year and ranges from 17,265,880.55 tons/year in 2018 and 34,722,925.5 tons/year in 2021. In second place are the emissions from flare installations of the Integrated Process Line, the volume of which is on average about 1800 - 2000 tons /year, which is 10 times less than at the previous installation. In third place are emissions from Second-generation flare installations, where the volume of emissions is about 700-800 tons/year, which is 20 times less than emissions from flare installations for pumping crude gas and oil production. The minimum values are typical for emissions of external objects, the volume of which is about 1.0 t/year.

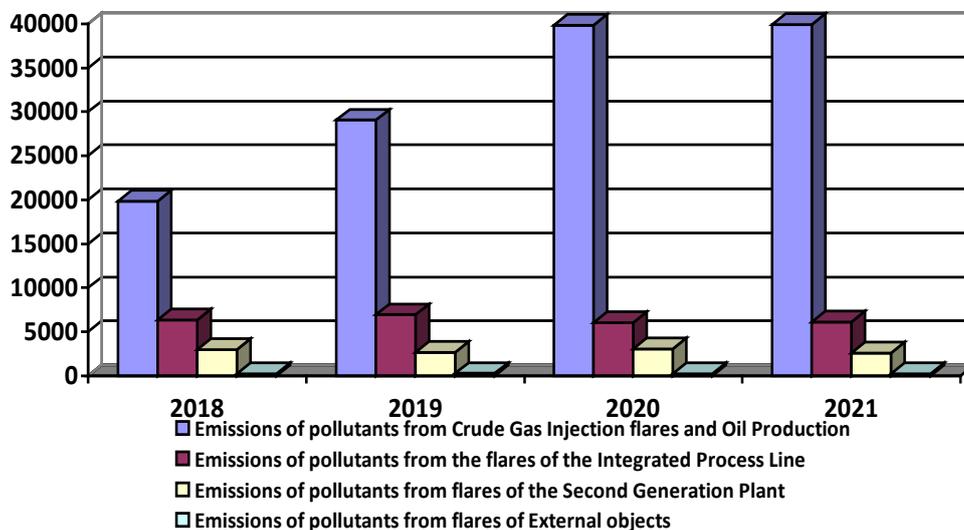


Figure 7 - Emissions of the total volume of all pollutants from TCO flare installations

The analysis of the total volume of all pollutants from the TCO flare installations presented in Figure 7 shows that the main suppliers of pollutants are a flare installation for pumping crude gas and oil production, the total volume of all pollutants of which is more than 19 thousand (19826.05934) tons/year in 2018 – and about 40 thousand (39927.87828) tons/year in 2021, with an annual increase in the volume of emissions of pollutants. The total volume of all pollutants from flare installations of the Integrated Process Line is less than from flare installations for pumping crude gas and oil production by more than 3 times and on average amount to more than 6 thousand tons/year, being approximately at the same level from 6017,074691 tons/year in 2020 and 6949,446184 tons/year in 2019. Emissions of the total volume of all pollutants from Second-generation flare installations are approximately 2 times less than from flare installations of the Integrated Process Line and are at the level of 2621.352511 tons/year in 2021 to 3053.588875 tons/year in 2020. The

lowest values are typical for emissions from external facilities and amount to more than two hundred tons/year (from 247.0662877 in 2020 to 275.3908474 tons/year in 2019), which is more than a hundred times more than from flare installations for pumping crude gas and oil production [15].

**Conclusion.** The analysis carried out by the volume of emissions of all pollutants from TCO flare installations shows that of the eleven pollutants, only two pollutants account for the main volume, these are Sulfur dioxide and Carbon oxide. In terms of sulfur dioxide emissions, emissions from flare installations for pumping crude gas and oil production are dominant, while the volume of emissions from other installations is tens and hundreds of times less. In terms of Carbon monoxide emissions from two flare installations, such as for crude gas injection and oil production and an Integrated Process Line, they are at the same level, with slight changes over the years, and from Second-generation flare installations they are almost at the same level and the minimum values are characteristic of emissions from external objects. The most minimal values for all installations are typical for pollutants: 1-Butanethiol, Methanethiol, Propane-1-thiol and Ethanethiol. Of all flare installations, the main volume of pollutants falls on the flare installation for pumping crude gas and oil production.

#### **Information about the authors:**

**Yessenamanova Mansiya** – candidate of Technical Sciences, Kh. Dosmukhamedov Atyrau University, Atyrau, Kazakhstan; mansiya.73@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-5423-2857>;

**Anuarbekova Arailym** – Master’s student of the educational program 7M05201-Applied Ecology, Kh.Dosmukhamedov Atyrau University, Atyrau, Kazakhstan; arailim-98@mail.ru <https://orcid.org/0000-0001-6160-4156>;

**Ryskaliyeva Damilya** – doctoral student of the educational program 8D05201-Ecology, Sh. Yessenov Caspian University of Technology and Engineering, Aktau, Republic of Kazakhstan; damilya03@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-5988-3632>;

**Yessenamanova Zhanar** – master of Engineering and Technology “Applied ecology”, doctoral candidate of the PhD “Ecology” of Kh. Dosmukhamedov Atyrau University, Atyrau, Kazakhstan; zhanyessen@mail.ru; <http://orcid.org/0000-0003-3868-4092>;

**Tlepbergenova Anar** – candidate of Pedagogical Sciences, Kh. Dosmukhamedov Atyrau University, Atyrau, Kazakhstan; anar\_2808@mail.ru; <http://orcid.org/0000-0001-7373-8944>.

#### **REFERENCES**

- [1] Kenessariyev U., Alexander G., Michael B., Dosmukhametov A., Amrin M., Erzhanova A. & Kenessary D. (2013) Human Health Cost of Air Pollution in Kazakhstan. *Journal of Environmental Protection*, 4, 869-876. DOI: <https://doi.org/10.4236/jep.2013.48101>.
- [2] Alimbaev T., Yermagambetova K., Kabylyayeva S., Issayev A., Kairat Zh., Mazhitova Zh. Environmental problems of the oil and gas industry in Kazakhstan. *E3S Web of Conferences*. 215, 03008, 2020, <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202021503008>.
- [3] Mukusheva G.K., Sarsembiyeva N.S. Study of emissions of polluting substances from ANPZ to environment and development of recommendations for their decrease. *News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Series of social and human sciences*. 324 (2), pp. 225-229, <https://doi.org/10.32014/2019.2224-5294.73>.
- [4] Yessenamanova M.S., Sangajiyeva L.Kh., Yessenamanova Zh.S. & Tlepbergenova A.E. Migratory activity at the landfill site of microelements of the Caspian depression. *News of the national academy of sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of geology and technical sciences*, Vol. 1, 439 (2020), 155 – 163. DOI: <https://doi.org/10.32014/2020.2518-170X.19>.
- [5] National report on the transition of the Republic of Kazakhstan to a “Green Economy” for 2017 – 2019, Nur-Sultan, 2020.
- [6] Yessenamanova M.S., Tekeyeva A.A., Yessenamanova Z.S., Tlepbergenova A.E. (2020) Assessment of the impact of indicator air pollutants in Atyrau city on public health. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 548(6): 062018.
- [7] Yessenamanova M., Yessenamanova Z., Tlepbergenova A., Batyrbayeva G. (2021) Analysis of the content of hydrogen sulfide in the air of the city of Atyrau. *International Journal of Sustainable Development and Planning* 16(3): 479 – 483.
- [8] Morelli X., Rieux C. & et al. (2016) Air pollution, health and social deprivation: a fine-scale risk assessment. *Environmental Research*. 147: 59–70. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2016.01.030>.

[9] Onishchenko G.G., Novikov S.M., Rakhmanin Yu.A., Avaliani S.A. & Bushtueva K.A. (2002) Basics of risk assessment for public health when exposed to chemicals polluting the environment. M.: NII ECh and GOS.

[10] Orru K., Nordin S. & et al. (2018) The role of perceived air pollution and health risk perception in health symptoms and disease: A population-based study combined with modelled levels of PM<sub>10</sub>. *International Archives of Occupational and Environmental Health.*; 91(5): 581–589. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00420-018-1303-x>.

[11] Salnikov V.G. & Karatayev M.A. (2011) The Impact of Air Pollution on Human Health: Focusing on the Rudnyi Altay Industrial Area. *American Journal of Environmental Sciences* 7 (3): 286-294.

[12] Shaddick G., Thomas M.L. & et al. (2018) Data integration for the assessment of population exposure to ambient air pollution for global burden of disease assessment. *Environmental Science & Technology.* 52(16): 9069–9078. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.est.8b02864>.

[13] SC MNE RoK (2019) National Report based on the OECD Green Growth Indicators. Nur-Sultan, 2019 <http://www.oecd.org/environment/indicators-modelling-outlooks/Green-Growth-Indicators-Kazakhstan-English.pdf>.

[14] Draft standards of maximum permissible emissions (MPI) of pollutants into the atmosphere for the facilities of Tengizchevroil LLP for 2019-2021. [Proekt normativov predel'no dopustimyh vybrosov (PDV) zagryaznjajushhih veshhestv v atmosferu dlja ob#ektov TOO «Tengizshevrojl» na 2019-2021 gg.] Nursultan, Kazakhstan, 2018. (In Russian).

[15] SC MNE RK Environmental indicators of environmental monitoring and assessment. <http://stat.gov.kz/>

REPORTS OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES  
OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN  
ISSN 2224-5227

Volume 1, Number 341 (2022), 94-101

<https://doi.org/10.32014/2022.2518-1483.137>

UDC 524.7-56

**D.B. Kuvatova<sup>1,2\*</sup>, D.V. Yurin<sup>1</sup>, M.A. Makukov<sup>1</sup>, C.T. Omarov<sup>1</sup>**<sup>1</sup>Fesenkov Astrophysical Institute, Almaty, Kazakhstan;<sup>2</sup>Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan.E-mail: [kuvatova@aphi.kz](mailto:kuvatova@aphi.kz)**RESPONSE OF THE ISOTROPIC HERNQUIST SPHERE TO FLATTENING  
OF ITS SPATIAL STRUCTURE**

**Abstract.** Elliptical galaxies are interesting objects to study, as the mechanisms of their formation, evolution and stability are still unclear. In addition to the methods of observational astronomy, computer simulation methods have been actively developed and used in recent decades, in particular, to study galaxies as isolated collisionless systems. In this case, an important task is to find the equilibrium distribution function to determine the initial conditions of the system. One of the known distribution functions used to construct elliptical galaxies and dark matter halos is the Hernquist distribution function. This article examines the stability of a system constructed according to this distribution function with respect to perturbations introduced into the structure of particle distribution; the method used for generating the initial conditions is described; the density profiles for spherical and non-spherical systems are considered; a macroparameter  $D$  that characterizes the deviation of the perturbed system from certain state is introduced. The result of this work is the conclusion that, on the whole, after the introduction of disturbances, the system stabilizes, and the degree of the system's tendency to acquire the initial shape depends on the nature of the introduced disturbances and their magnitude. Density wave is observed, passing over time from the center of the system to the periphery. We can conclude that the isotropic Hernquist distribution is irreversible with respect to the introduced perturbations of its structure.

**Key words:** elliptical galaxies, Hernquist distribution, stability, perturbations, N-body simulation.

**Д.Б. Куватова<sup>1,2\*</sup>, Д.В. Юрин<sup>1</sup>, М.А. Макуков<sup>1</sup>, Ч.Т. Омаров<sup>1</sup>**<sup>1</sup>В.Г. Фесенков атындағы астрофизика институты, Алматы, Қазақстан;<sup>2</sup>Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан.E-mail: [kuvatova@aphi.kz](mailto:kuvatova@aphi.kz)**ХЕРНКВИСТ ИЗОТРОПТЫ СФЕРАСЫНЫҢ КЕҢІСТІКТІК ҚҰРЫЛЫМДЫ  
ЖАНШЫЛУҒА РЕАКЦИЯСЫ**

**Аннотация.** Эллиптикалық галактикаларға зерттеу жүргізу өте қызық, өйткені олардың қалыптасу, эволюция және тұрақтылық механизмдері әлі күнге дейін түсініксіз. Бақылау астрономиясының әдістерінен басқа, компьютерлік модельдеу әдістері соңғы онжылдықтарда белсенді дамып, қолданылып келеді. Соның бірі галактикаларды оқшауланған соқтығыссыз жүйелер ретінде зерттеу. Бұл жағдайда жүйенің бастапқы жағдайларын анықтау үшін тепе-теңдік бөлу функциясын табу маңызды міндет болып саналады. Эллиптикалық галактикалар мен қараңғы материя галосын құру үшін қолданылатын белгілі тарату функцияларының бірі – Хернквистің таралу функциясы. Бұл мақалада осы бөлу функциясына сәйкес құрылған жүйенің бөлшектердің таралу құрылымына енгізілетін бұзылуларға қатысты тұрақтылығы зерттеледі; бастапқы жағдайларды құру әдісі сипатталады; сфералық және сфералық емес жүйелер үшін тығыздық профильдері қарастырылады;  $d$  макропараметрі енгізілген жүйенің белгілі бір күйден ауытқуы сипатталады. Жұмыстың нәтижесінде авторлар: «тұтастай алғанда, бұзылулар енгізілгеннен кейін жүйе тұрақтанады және жүйенің бастапқы форманы алуға деген ұмтылыс дәрежесі енгізілген бұзылулардың сипатына және олардың

магнитудасына байланысты» деген қорытындыға келеді. Уақыт өте жүйенің ортасынан периферияға өтетін тығыздық толқыны байқалады. Хернквистің изотропты таралуы оның құрылымының енгізілген бұзылыстарына қатысты қайтымсыз деп қорытынды жасауға болады.

**Түйін сөздер:** эллиптикалық галактикалар, Хернквистердің таралуы, тұрақтылық, ауытқулар, N-денені модельдеу.

Д.Б. Куватова<sup>1,2\*</sup>, Д.В. Юрин<sup>1</sup>, М.А. Макуков<sup>1</sup>, Ч.Т. Омаров<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Астрофизический институт им. В.Г. Фесенкова, Алматы, Казахстан;

<sup>2</sup>Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан.

E-mail: kuvatova@aphi.kz

## ОТКЛИК ИЗОТРОПНОЙ СФЕРЫ ХЕРНКВИСТА НА СПЛЮЩИВАНИЕ ЕГО ПРОСТРАНСТВЕННОЙ СТРУКТУРЫ

**Аннотация.** Эллиптические галактики являются интересными объектами для изучения, так как механизмы их формирования, эволюции и устойчивости до сих пор остаются неясными. Помимо методов наблюдательной астрономии в последние десятилетия активно развиваются и используются методы компьютерного моделирования, в частности, для изучения галактик как изолированных бесстолкновительных систем. При этом важной задачей является нахождение равновесной функции распределения для определения начальных условий системы. Одной из известных функций распределения, используемых для построения эллиптических галактик и гало темной материи, является функция распределения Хернквиста. В данной статье исследуется устойчивость системы, построенной согласно данной функции распределения, по отношению к вводимым возмущениям в структуру распределения частиц; описывается метод генерации начальных условий; рассматриваются профили плотности для сферических и несферических систем; вводится макропараметр  $D$ , характеризующий отклонение возмущенной системы от определенного состояния. Результатом данной работы является вывод о том, что в целом после введения возмущений система стабилизируется, а степень стремления системы к приобретению начальной формы зависит от характера вводимых возмущений и их магнитуды. Наблюдается волна плотности, проходящая с течением времени от центра системы к периферии. Можно заключить, что изотропное распределение Хернквиста необратимо по отношению к вводимым возмущениям его структуры.

**Ключевые слова:** эллиптические галактики, распределение Хернквиста, устойчивость, возмущения, моделирование N-тел.

**Introduction.** Elliptical galaxies are a common type of observed galaxies in the Universe. They are found mainly in clusters of galaxies, and their masses and luminosities vary greatly: from dwarf galaxies with a mass of  $10^5 M_0$  to massive galaxies, which include about  $10^{13} M_0$  and have a supermassive black hole in the center. Elliptical galaxies have a spherical or ellipsoidal shape, the preservation of which, as a rule, is not played by rotational motion, as in spiral galaxies, but by the velocity dispersion of stars.

Observations of elliptical galaxies using large ground-based and space telescopes (GMOS, VLT, Hubble, Chandra, Spitzer etc.) make it possible to obtain detailed kinematic characteristics with a spatial resolution of their central parts up to 1 pc (parsec is about 3.3 light years) for the velocities and velocity dispersion of stars [1]. At the same time, the existing problems associated with their observation indicate that the mechanisms of their formation and evolution still require more careful study [2].

Elliptical galaxies are considered as collisionless systems, which means that the interaction of stars with each other, i.e., their exchange of energy and angular momentum, can be neglected, with the exception of the central regions, where the stellar density is much higher. Such a high value implies the possibility of the existence of anisotropy of velocities, which is the main mechanism leading to the non-sphericity of galaxies of this type. These galaxies, with their characteristic flattening, can have a shape close to an oblate, elongated, or triaxial ellipsoid, not exceeding certain critical values of oblateness. The shape and dynamic stability of elliptical galaxies is an urgent problem in astrophysics.

In 1975 Bertola and Capaccioli [3] determined the rotation curve of the galaxy NGC 4697 from observations, it was found that the oblateness of this galaxy cannot be explained by its rotation within the framework of the classical theory of liquid equilibrium figures. The theory of collisionless ellipsoidal equilibrium figures was

well developed in the last century to study their shape and stability [4, 5]. However, the differential equations of motion in the general case are complex in this theory and are not analytically integrable. In addition, the difficulty of an analytical study of stability lies in the fact that the distribution function of stars must be known [6], and for elliptical galaxies it is extremely difficult to construct it in the general case. Therefore, to overcome these difficulties and develop the theory of the evolution of elliptical galaxies, today the main approach in this area is to turn to numerical methods and computer modeling.

Recently, observational data on elliptical galaxies and numerical simulations have made it possible to build more and more accurate dynamic models of elliptical galaxies. It is analytically impossible to construct equilibrium distribution functions for elliptical galaxies, except for special cases. One of such special cases will be considered in this work.

This article is devoted to the study of the dynamic stability of elliptical galaxy models to external perturbations affecting the internal structure of the system.

**Materials and methods.** 1. Generation of initial conditions according to the Hernquist distribution function. To construct the equilibrium distribution, we used the analytical model for spherical galaxies obtained by Lars Hernquist [7]. The density distribution of the Hernquist sphere is given by

$$\rho(r) = \frac{M_t a}{2\pi r} \frac{1}{(r+a)^3}, \quad (1)$$

where  $M_t$  is the total mass of galaxy,  $a$  is a scale length.

To generate coordinates corresponding to distribution (1), it is necessary to “sample” this function. The most commonly used methods are “inverse transform sampling” and “rejection sampling”. The latter, due to the fact that the highest concentration of particles of a given distribution is located in the center, is not suitable for efficient generation of coordinates. Therefore, the “inverse transform sampling” method was used, based on the use of an inverse cumulative distribution function. The cumulative distribution function for expression (1) is the mass distribution function depending on the distance to the center:

$$M(r) = M_t \frac{r^2}{(r+a)^2}. \quad (2)$$

Its inverse function is

$$r_{1,2} = \frac{a(M(r) \pm \sqrt{M_t M(r)})}{M_t - M(r)}. \quad (3)$$

Next, projections of position vectors on the coordinate axes are generated using the formulas for converting spherical coordinates to Cartesian ones.

To generate velocities, we used the full distribution function given by [7]

$$f(E) = \frac{M_t}{8\sqrt{2}(\pi a v_g)^3} \frac{1}{(1-q^2)^{5/2}} \times \left( 3 \arcsin(q) + q\sqrt{1-q^2}(1-2q^2)(8q^4-8q^2-3) \right), \quad (4)$$

where

$$q = \sqrt{-\frac{a}{GM_t} E}; \quad v_g = \sqrt{\left(\frac{GM_t}{a}\right)}.$$

Here  $G$  is the gravitational constant,  $E$  is a specific energy.

We used the “rejection sampling” method using the maximum value of the function (4) as the envelope function. In order for the system to be gravitationally bound, we selected velocities whose values are less than the escape velocity for each particle.

2. Introducing perturbations into the Hernquist distribution function. We introduced perturbations into the structure of the density distribution of the Hernquist model corresponding to the tidal effect from another galaxy or galactic cluster. The algorithm of this perturbation is as follows. First, a direction is chosen in the form of a unit vector  $n$  along which the perturbation will act. This direction is characterized by one parameter - the polar angle, i.e. the angle between the axis of symmetry of the galaxy and the gradient of the potential. Since we are considering only axially symmetric systems, the azimuthal angle does not matter. Then the

parameter  $h$  is introduced, which characterizes the force of the tidal influence (modulus of the potential gradient). This parameter will determine the degree of deformation. As a result, the perturbation is introduced by the shift of all particles of the galaxy along the positive direction  $n$ , if the angle between the radius vector of the particle and the vector  $n$  is obtuse, and in the opposite direction, if this angle is acute (particles whose radius vector is perpendicular to  $n$  do not shift). Formally, this is expressed as

$$\vec{r}' = \vec{r} + \frac{h\vec{n}(\vec{n}\vec{r})}{r}, \quad (5)$$

where  $\vec{r}$  and  $\vec{r}'$  are the positions of a particle in a disturbed and equilibrium systems respectively,  $r$  is a modulus of the vector  $\vec{r}$ . Thus, the algorithm for generating the initial conditions is reduced to a certain degree of flattening of the Hernquist sphere along the Z-axis. Therefore, this flattening is done by multiplying the z-coordinates of particles by the flattening coefficient  $\beta$ .

3. Density profile and velocity dispersion analysis method. After generating the initial conditions, we prepared an initial snapshot for the integrator Gadget2 [8], which is a binary file with a specific structure. Next, we ran the integrator up to 6 Gyr. Gadget2 is freely available N-body simulation code using parallel computing technologies. The code is based on the calculation of gravitational forces using a hierarchical tree algorithm for self-gravitating collisionless N-body systems.

3.1. Spherical model. If the system preserves spherical symmetry, then it is sufficient to investigate only the radial dependence. In this case, to construct radial dependences for density or velocity dispersion, it is necessary to take, as the reference point not the center of mass of the system, but the point of maximum density; the difference between them is that all stars, including very distant and solitary ones, influence the position of the center of mass.

For this, the “shrinking sphere” method is used [9]. It is based on finding the center of mass in spheres that shrink logarithmically at each iteration step. The iteration continues until the limit mass in such a sphere is reached. The coordinates for the true center of mass for the whole system are calculated from the remaining number of particles in the last sphere. The use of a logarithmic scale is associated with a large concentration of particles in the central regions of the distribution.

In the case of spherical symmetry, the system parameters are measured in concentric layers (density and velocity dispersion). For example, the density of particles at a given radius is the number of particles in a layer at that radius divided by the volume of the layer. Since the concentration of particles decreases with distance from the center, it is impractical to use layers of the same thickness. For uniform statistics, the thickness of the layers also increases logarithmically from the center.

It should be noted that for the unperturbed Hernquist sphere, the density and velocity dispersion profiles for the generated particles should correspond to the profiles obtained through analytical expressions (1) and

$$\overline{v_r^2} = \frac{GM_t}{12a} \left\{ \frac{12r(r+a)^3}{a^4} \ln \left( \frac{r+a}{r} \right) - \frac{r}{r+a} \left[ 25 + 52 \frac{r}{a} + 42 \left( \frac{r}{a} \right)^2 + 12 \left( \frac{r}{a} \right)^3 \right] \right\}. \quad (6)$$

In addition, they should not change over time (within the limits of the “digital noise”), which is the verification of the correctness of the generation of the initial conditions, the operation of the integrator code and numerical analysis tools.

3.2. Non-spherical model. In the case of introducing a perturbation in the form of flattening along any axis, spherical symmetry is violated, which means that we can no longer use the method for calculating system parameters based on spherical concentric layers, as described in Section 3.1. Then the parameters should be measured independently along the Z-axis and perpendicular to it. For this, for example, points with a logarithmic step are selected along the Z axis, an imaginary sphere with a radius equal to half the distance to the previous point is taken around them, the number of stars falling into this sphere is counted and divided by its volume (in the case of calculating the local density). At the same time, since the symmetry about the XY plane is preserved, the same procedure can be done in two directions (positive and negative Z), and then the values averaged along these two directions - this will give better statistics.

Another method for assessing the macro state of the system is the introduction of a parameter (deviation parameter D) characterizing the deviation of the state of the system from a given initial perturbed or unperturbed state. This parameter is a cumulative number obtained by summing the absolute difference between the initial and subsequent distributions in the space sampled using the tree algorithm. The first step is to divide the three-

dimensional space into a certain number of subvolumes and check what mass is contained in them. If this mass exceeds a certain limiting predetermined mass, then each subvolume, in turn, is divided in a similar way before the onset of the specified condition, and so on. At the end of sampling, this “grid” is saved and then remains unchanged. The discretization of the volume is visually presented in Figure 1 for different degrees of flattening of the system. The mass limit used corresponds to 2000 particles in the remaining subvolumes.

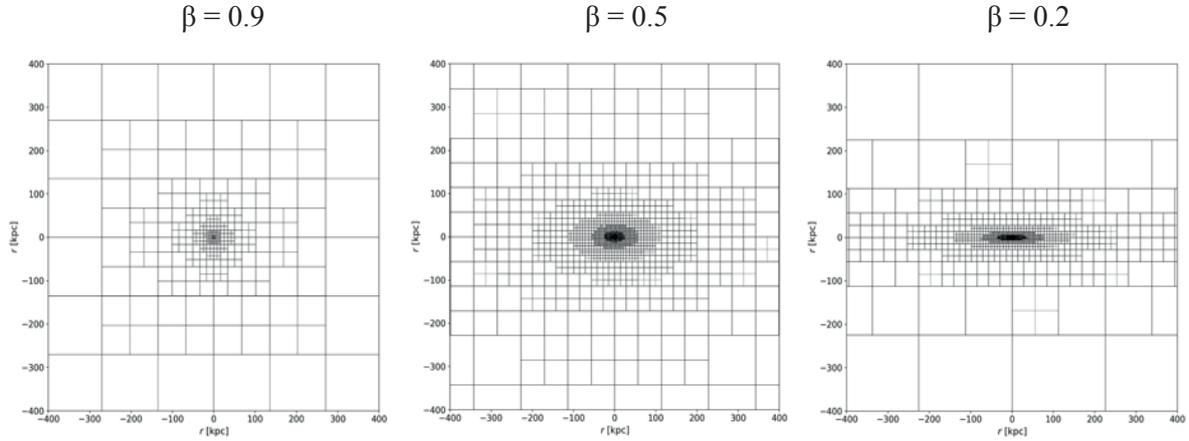


Figure 1. Discretization of volume according to the condition that mass in each cell must be less than the one specified. Flattening coefficient  $\beta$  is equal to 0.9, 0.5 and 0.2 (from left to right)

After this procedure, the absolute difference of particles is calculated for the subsequent stage of evolution in each cell of the “grid”. These values are summed up and normalized to the total mass of the system:

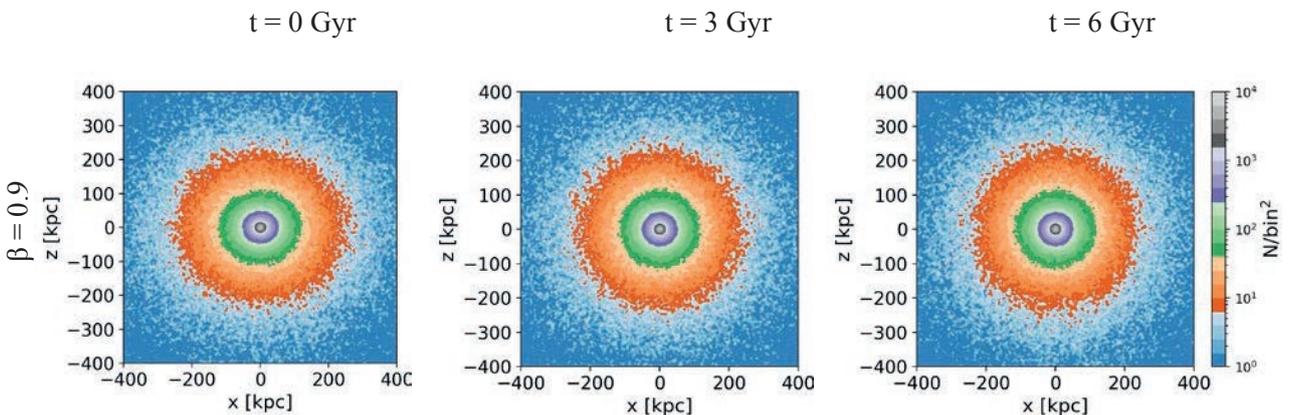
$$D = \frac{1}{M_t} \sum_1^N |m_i^0 - m_i^s|, \quad (7)$$

where  $M_t$  is the total mass of the system,  $N$  is the number of the final subvolumes, and  $m_i^0$  and  $m_i^s$  are masses in the  $i$ -subvolume at the initial and compared times, respectively.

Thus, we can get one number  $D$  characterizing the deviation of the system from the original at different moments of evolution. It should be noted, that this parameter  $D$  strongly depends on chosen mass limit, i.e., on the size of the final subvolumes. If the mass limit is too small, then even a stable unperturbed system generated by the Hernquist distribution will show strong deviations from its initial state during evolution.

**Results and discussion.** To study the stability of the Hernquist distribution, we introduce perturbations into the structure of the density distribution with different flattening coefficients  $\beta$  (from 0.1 to 0.9).

As we can see from the Figure 2, the system comes to an equilibrium state after some changes in the structure. In fact, it returns from the elliptical shape to an almost spherical one, then again takes on some ellipticity and does not change anymore. Thus, the system comes to an equilibrium state after a certain oscillatory phase. The color map characterizes the density of particles in bins.



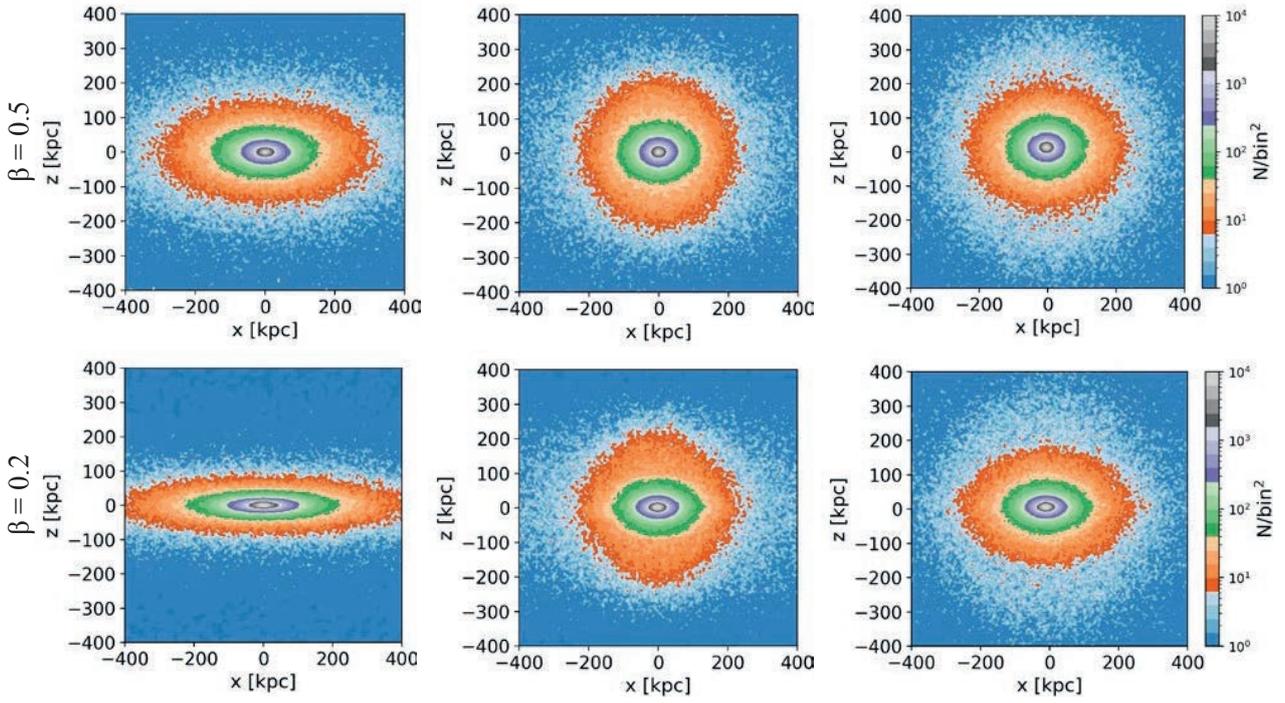


Figure 2. Evolution of the Hernquist flattened sphere (flattening coefficient  $\beta$  is equal to 0.9, 0.5 and 0.2 from top to bottom, respectively)

Figure 3 shows constructed density profiles by different axes at start and end times for different flattening coefficient  $\beta$ . The bottom plots under every figure show the relative difference compared to the analytical solution. It can be seen from them that, up to a certain point, the density profiles tend to approach the analytical distribution. In addition, especially on graphs with a strong flattening coefficient  $\beta$ , a density wave is visible running from the center to the periphery of the system.

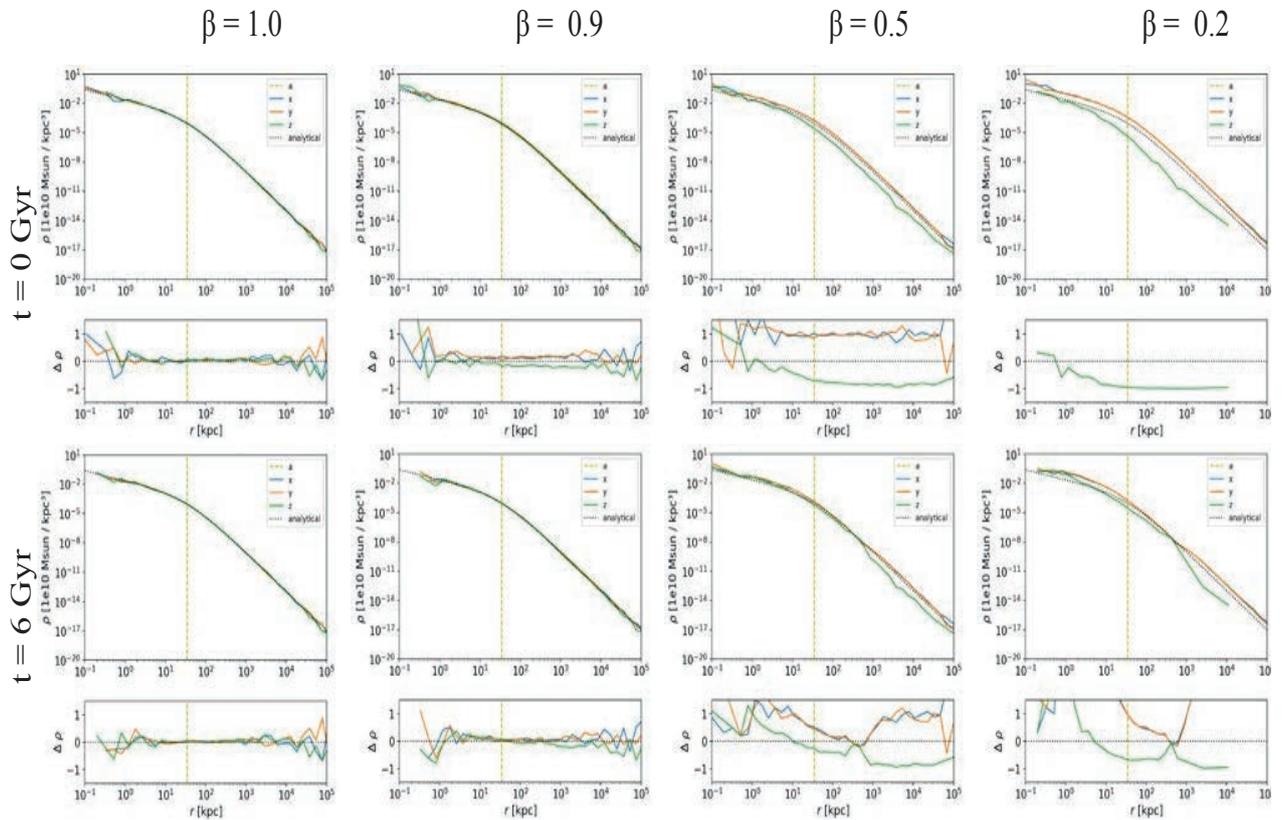


Figure 3. Density profiles of the flattened Hernquist sphere along three axes for the initial (top) and final (bottom) moments of evolution with different flattening coefficient  $\beta$

We estimated the deviation of the system from its initial condition and from unperturbed Hernquist distribution using the deviation parameter  $D$  described above in section Methods.

The resulting parameters  $D$  for different flattening coefficient  $\beta$  is shown in Figures 4 and 5. Figure 4 presents evolution of the deviation parameter  $D$  calculated relative to the initial state of each system and corresponding flattening dependence of the parameter at the time of 6 Gyr – the moment the system almost reaches equilibrium. To establish an equilibrium state, systems with different flattening need different times: the most flattened one comes to this state the longest. Second plot on Figure 4 suggests some elasticity of the system depending on its initial flattening.

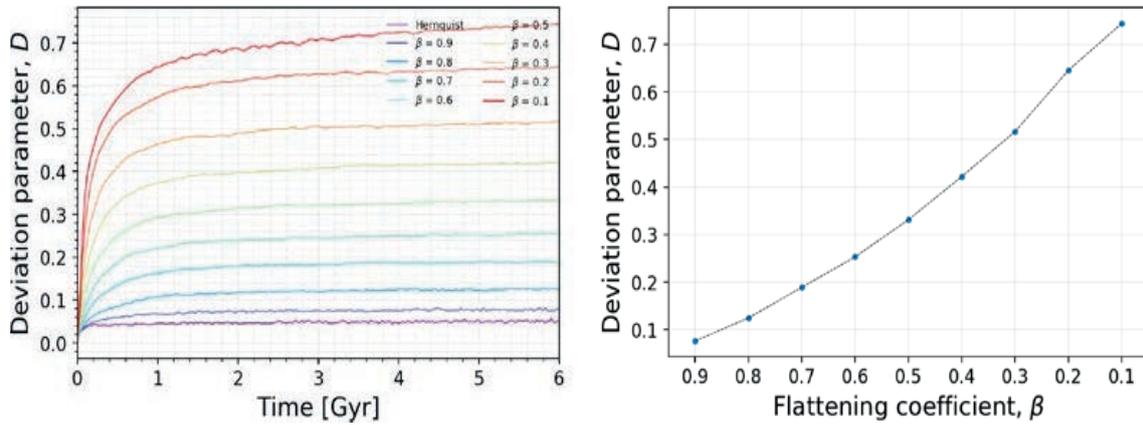


Figure 4. Evolution of parameters  $D$  of the system deviation in relation to its initial state (left) and dependence of the parameter on the flattening of the system (right)

Figure 5 shows similar data but with the deviation parameter  $D$  calculated relative to the unperturbed Hernquist distribution. We can see that even a small perturbation introduced into the system does not allow it to return to its initial state. It follows from this that the Hernquist distribution is irreversible with respect to such perturbations.

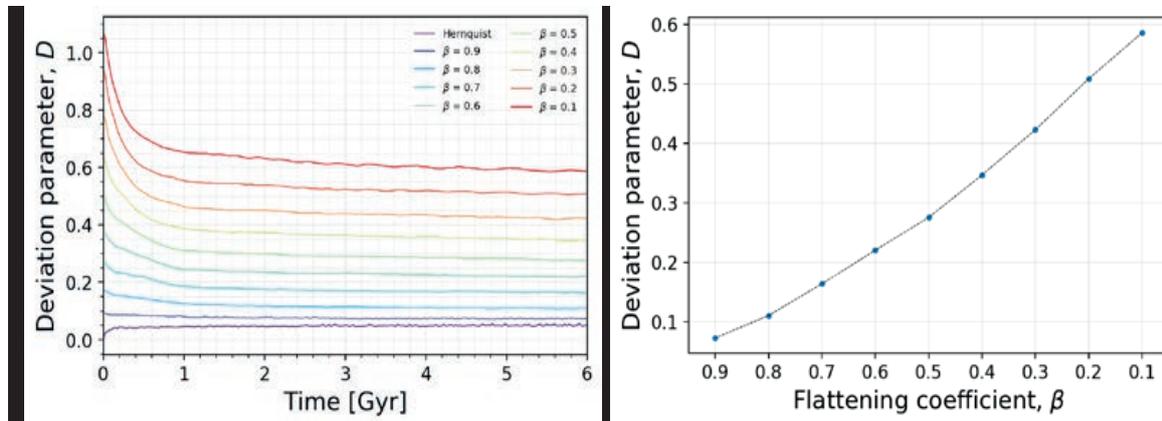


Figure 5. Evolution of parameters  $D$  of the system deviation in relation to the unperturbed Hernquist distribution (left) and dependence of the parameter on the flattening of the system (right)

As we can see, the isotropic Hernquist distribution is not stable with respect to flattening perturbations whichever their magnitude is. With that we note that certain degree of stiffness in the sense that the perturbation magnitude and the resulting deformation are related in a non-linear fashion.

**Conclusion.** We have considered variations of the Hernquist distribution with introduced perturbances and analyzed their stability. We saw that depending on the degree of perturbations, the system passes through an oscillatory phase. After this, the system comes to some stable state, but does not return to its original state, not to mention the isotropic Hernquist distribution. From this we can conclude that the Hernquist distribution is irreversible with respect to perturbations of its structure. It should be noted that the parameter used to assess the macro state of the system does not fix the oscillating phase of the system.

For further more detailed analysis, it is necessary to consider the orbits of individual stars at different distances from the center of the system in order to determine the degree of their change in connection with

the introduced perturbations; to carry out their nonlinear analysis in order to understand the processes of parametric resonance and destruction of periodic orbits, as well as their stochasticity. In addition, to construct equilibrium elliptic systems, it is planned to use the GALLIC code [10], which uses the current distribution of velocities to set the velocity structure at each subsequent iteration, and, in particular, deformed Hernquist sphere, generated with its help, will be almost perfectly equilibrium.

**Acknowledgements.** *This research has been funded by the Science Committee of the Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan (Grant No. AP09259383) and by the Aerospace Committee of the Ministry of Digital Development, Innovations and Aerospace Industry of the Republic of Kazakhstan (Program No. BR11265408).*

**Information about authors:**

**Kuvatova D.B.** – MSc-student in Physics and Astronomy, Kazakh National University, Almaty; Engineer, Fesenkov Astrophysical Institute, Almaty; <https://orcid.org/0000-0002-5937-4985>;

**Yurin D.V.** – PhD in Astronomy and Astrophysics, Heidelberg University, Heidelberg; Head of theoretical astrophysics department, Fesenkov Astrophysical Institute, Almaty; <https://orcid.org/0000-0002-5604-9757>;

**Makukov M.A.** – Master’s degree from the Department of Physics, Lomonosov Moscow State University, Moscow; Acting head of the Laboratory of Cosmology, Stellar Dynamics and Computational Astrophysics, Fesenkov Astrophysical Institute, Almaty; <http://orcid.org/0000-0003-3643-9368>;

**Omarov C.T.** – PhD in Physics and Mathematics; Director, Fesenkov Astrophysical Institute, Almaty; <https://orcid.org/0000-0002-1672-894X>.

**REFERENCES**

[1] Ene I., Ma C.P., McConnell N.J., Walsh J.L., Kempster P., Greene J.E., & Blakeslee J.P. (2019). The MASSIVE Survey XIII. Spatially Resolved Stellar Kinematics in the Central 1 kpc of 20 Massive Elliptical Galaxies with the GMOS-North Integral Field Spectrograph. *The Astrophysical Journal*, 878(1), 57. DOI: 10.3847/1538-4357/ab1f04.

[2] Scott N., Eftekhari F.S., Peletier R.F., Bryant J.J., Bland-Hawthorn J., Capaccioli M. & Venhola A. (2020). The SAMI–Fornax Dwarfs Survey I: sample, observations, and the specific stellar angular momentum of dwarf elliptical galaxies. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 497(2), 1571-1582. DOI: 10.1093/mnras/staa2042.

[3] Bertola F. & Capaccioli M. (1975). Dynamics of early type galaxies. I-The rotation curve of the elliptical galaxy NGC 4697. *The Astrophysical Journal*, 200, 439-445. DOI: 10.1086/153808.

[4] Freeman K.C. (1966). Structure and evolution of barred spiral galaxies, I. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 133(1), 47-62. DOI: 10.1093/mnras/133.1.47.

[5] Freeman K.C. & Mestel L. (1966). Structure and evolution of barred spiral galaxies, III. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 134(1), 15-23. DOI: 10.1093/mnras/134.1.15.

[6] Binney J. & Tremaine S. (2011). *Galactic dynamics*. Princeton university press. ISBN: 9780691130279.

[7] Hernquist L. (1990). An analytical model for spherical galaxies and bulges. *The Astrophysical Journal*, 356, 359-364. DOI: 10.1086/168845.

[8] Springel V. (2005). The cosmological simulation code GADGET-2. *Monthly notices of the royal astronomical society*, 364(4), 1105-1134. DOI: 10.1111/j.1365-2966.2005.09655.x.

[9] Power C., Navarro J.F., Jenkins A., Frenk C.S., White S.D., Springel V. & Quinn T. (2003). The inner structure of  $\Lambda$ CDM haloes-I. A numerical convergence study. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 338(1), 14-34. DOI: 10.1046/j.1365-8711.2003.05925.x.

[10] Yurin D. & Springel V. (2014). An iterative method for the construction of N-body galaxy models in collisionless equilibrium. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 444(1), 62-79. DOI: 10.1093/mnras/stu1421.

**Zh.S. Mustafayev<sup>1</sup>, Ryskulbekova L.M.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>«Institute of Geography and Water Safety» JSC, Almaty, Kazakhstan;

<sup>2</sup>Kazakh National Agrarian University, Almaty, Kazakhstan.

E-mail.ru: ryskulbekova.laura@mail.ru

### SPATIAL-TIME CHANGE IN THE CLIMATIC PARAMETERS OF THE DRAINAGE OF THE RIVER BASIN ILI

**Abstract.** In order to analyze climate change on a spatio-temporal scale, proceeding in various physical and geographical (geomorphological) conditions of the catchment area of the Ili River basin, we used the average annual air temperatures and annual precipitation for the period 1948-2020 of the meteorological stations Narynkol, Inin, Zharkent, Aidarly, Bakanas and Kuygan. For the quantitative assessment and forecasting of climate change, statistical methods were used based on studies of long-term fluctuations in climatic indicators, where they were made in Microsoft Excel for forecast calculations and graphing using a linear trend.

At the same time, there is simultaneously a significant increase in the average annual air temperature and the stability of annual atmospheric precipitation in the long-term section as a whole, which is probably related to the geographical location of the catchment area of the Ili River basin: runoff formation zones in the mountainous zone (eluvial facies), runoff transformation (transeluvial facies) in the foothill zone and the weakening of the transformation rate and the appearance of signs of runoff accumulation (transaccumulative facies) in the foothill plain zone with the close location of the Kapshagai reservoir and runoff accumulation (superaqual and subaquatic facies) in the plain zone of the activator of Lake Balkhash, which are determined by the formation of a specific climatic profile.

**Key words:** climate, catchment of river basins, average annual air temperature, annual precipitation, change, linear trend.

**Ж.С. Мұстафаев<sup>1\*</sup>, Рыскулбекова Л.М.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>АҚ «География және су қауіпсіздігі институты», Алматы, Қазақстан;

<sup>2</sup>Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университеті, Алматы, Қазақстан.

E-mail.ru: ryskulbekova.laura@mail.ru

### ІЛЕ ӨЗЕНІНІҢ СУЖИНАУ АЛАБЫНЫҢ КЛИМАТТЫҚ ӨЛШЕМДЕРІНІҢ КЕҢІСТІК-УАҚЫТТЫҚ ӨЗГЕРУІ

**Аннотация.** Іле өзенінің сужинау алабының әртүрлі физикалық-географиялық (геоморфологиялық) жағдайларын ескере отырып, климаттың өзгеруін кеңістік-уақыт масштабында талдау үшін 1948-2020 жылдар аралығындағы Нарынқол, Инин, Жаркент, Айдарлы, Бақанас және Құйған метеорологиялық бекеттерінің орташа жылдық ауа температурасы және жылдық атмосфералық жауын-шашын пайдаланылған. Климаттың өзгеруін сандық бағалау және болжау үшін климаттық көрсеткіштердің ұзақ мерзімді ауытқуларын зерттеуге негізделген статистикалық әдістер қолданылды және болжамды есептеулер мен сызықтық трендтердің сызбалық сұлбаларды тұрғызуға Microsoft Excel бағдарламасы пайдаланылды.

Жалпы, ұзақ мерзімде ауаның орташа жылдық температурасының және жыл сайынғы атмосфералық жауын-шашынның тұрақтылығының айтарлықтай жоғарлауы байқалады, бұл, мүмкін Іле өзенінің сужинау алабының географиялық орналасуымен байланысты: таулы (элювиальдық фация) аймақтағы ағын сулардың қалыптасуы, тау бөктеріндегі (трансэлювиальдық фация) аймақтардағы ағын

суларының тасмалдануы және тау бөктеріндегі жазықтық (трансаккумулятивтік фация) аймақтарда ағын суының тасмалдануының әлісреуі және жазықтық (супераквальдық және субаквальдық фация) аймақтағы ағын суларының қорлануының жақын орналасқан Қапшағай суқоймасының және ағын суларды қорлайтын жазықтық (супераквальдық және субаквальдық фация) аймақтағы Балқаш көлінің әсерінен, айрықша климаттық бейненің қалыптасуын айқындайтын секілді.

**Түйін сөздер:** климат, өзеннің сужинау алабы, орташа жылдық ауа температурасы, жылдық жауын-шашын, өзгеру, сызықтық тренд.

**Ж.С. Мустафаев<sup>1\*</sup>, Рыскулбекова Л.М.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>ТОО «Институт географии и водной безопасности», Алматы, Казахстан;

<sup>2</sup>Казахский национальный аграрный исследовательский университет, Алматы, Казахстан.

E-mail.ru: ryskulbekova.laura@mail.ru

## **ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЕ ИЗМЕНЕНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ВОДОСБОРА БАСЕЙНА РЕКИ ИЛЕ**

**Аннотация.** Для анализа изменения климата в пространственно-временных масштабах, протекающей в различных физико-географических (геоморфологических) условиях водосбора бассейна реки Иле использованы среднегодовые температуры воздуха и годовые атмосферные осадки за период 1948-2020 годов метеорологических станций Нарынкол, Инин, Жаркент, Айдарлы, Баканас и Куйган. Для количественной оценки и прогнозирования изменения климата использованы статистические методы, основанные на исследованиях многолетних колебаний климатических показателей, где для прогнозных расчетов и построения графиков с использованием линейного тренда были произведены в программе Microsoft Excel.

При этом, одновременно наблюдается значительное повышение среднегодовой температуры воздуха и стабильность годовых атмосферных осадков в многолетнем разрезе в целом, что связано, вероятно, с географическим местом водосбора бассейна реки Иле: зоны формирования стока в горной зоне (элювиальная фация), трансформации стока (трансэлювиальная фация) в предгорной зоне и ослабления скорости трансформации и появления признаков аккумуляции стока (трансаккумулятивная фация) в предгорной равнинной зоне с близким расположением Капшагайского водохранилища и аккумуляции стока (супераквальная и субаквальная фация) в равнинной зоне активатора озера Балхаш, которые определяются формированием специфического климатического профиля.

**Ключевые слова:** климат, водосбор речных бассейнов, среднегодовая температура воздуха, годовые атмосферные осадки, изменение, линейный тренд.

**Introduction.** The formation of hydrological runoff, as an environment-forming system, is a very complex multifactorial natural process, which is a function of the climatic components of the physical and geographical conditions of the catchment area of river basins, that are, atmospheric precipitation and evaporation.

Therefore, to solve the problem of sustainable management of water resources in the catchment area of the Ili River basin, it is necessary to study changes in climatic conditions on a spatial-temporal scale to identify regional features of the formation of natural processes.

The forecast of the impact of climatic changes on natural processes is very complicated, it is only possible to judge in general terms how the components of the natural system can react to one or another scenario of climate change. In this regard, to assess the spatial and temporal changes in the climatic parameters of the catchments of river basins and to ensure their reliability requires, firstly, the formation of an information and analytical research base and, secondly, the construction of graphs using a linear trend based on Microsoft Excel.

**Purpose of research** – study climate change in the Ili catchment area in spatio-temporal scales in order to create a database for making effective decisions on the necessary adaptation actions.

**Object of research** - the catchment area of the Ili River basin, which is the main waterway of the Balkhash Lake basin, which originates on the Muzart glaciers in Central Tairtau (Kazakhstan), the source of the Tekes River and then flows through the territory of the People's Republic of China (PRC), where it merges with the Kunes and Kash rivers, at 250 km from the confluence it again enters the Republic of Kazakhstan, at 1001 km it flows into Lake Balkhash [1].

**Research methods and materials.** The work used materials of the reference and information portal “Weather and Climate”, the World Meteorological Organization (WMO) and the RSE “Kazhydromet” where the main criterion when choosing meteorological stations located in the catchment area of the Ili River basin is the duration of a series of observations of climatic indicators, which is more than 70 years [2; 3].

For a quantitative assessment and forecasting of climate change, statistical methods were used based on studies of long-term fluctuations in climatic indicators, based on information and analytical materials of standard hydrometeorological observations for a long-term period and linear trends.

The choice of meteorological stations located in the catchment area of the Ili River basin is due to the possibility of assessing climate change on a spatio-temporal scale, proceeding in various physical and geographical (geomorphological) conditions, that are, Narynkol in the zone of runoff formation - a mountainous class of landscapes (eluvial facies), Inin and Zharkent in the zone of runoff transformation - a foothill class of landscapes (transeluvial facies), Aydarly and Bakanas in a zone of weakening transformation rate and the appearance of signs of runoff accumulation - a foothill lowland class of landscapes (transaccumulative facies) and Kuygan in a runoff accumulation zone - a lowland class of landscapes (super-aquatic and subaquatic facies), which were carried out according to two meteorological indicators: average annual air temperature and annual precipitation [4-20].

**Research results.** To assess the long-term changes in meteorological parameters in the catchment area of the Ili River in the mountainous and foothill zones, chronological graphs of changes in the average annual air temperature and annual precipitation were plotted at the Narynkol meteorological stations in the runoff formation zone - a mountainous class of landscapes (eluvial facies), Inin and Zharkent in the zone runoff transformations - of the foothill class of landscapes (transeluvial facies) (Figures 1 and 2).

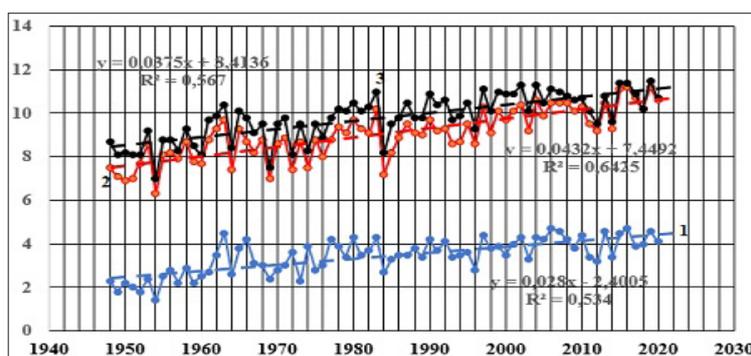


Figure 1- Graph of changes in average annual air temperature for meteorological stations Narynkol (1), Inin (2) and Zharkent (3) for 1948-2020 and its linear trend.

As can be seen from Figure 1, in the mountainous runoff formation zone (eluvial facies) of the Ili River catchment area, according to the Narynkol meteorological station for the period 1948-2020, located on the Muzart glaciers in Central Tanirtau, an increase in the average annual air temperature is observed, which is 2.016°C in 73 years.

The change in the average annual air temperature for the study period 1948-2020 in the foothill zone of runoff transformation (transeluvial facies) at the meteorological stations Inin and Zharkent (Figure 1), respectively, are 3.1104°C and 2.700°C in 73 years.

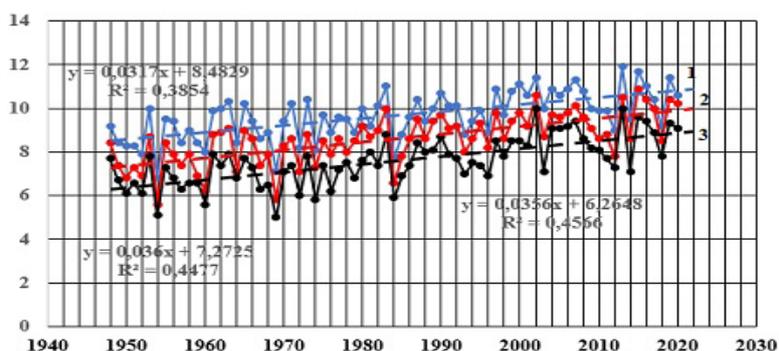


Figure 2- Graph of changes in the average annual air temperature for the meteorological stations Aydarly (1), Bakanas (2) and Kuygan (3) for 1948-2020 and its linear trend

The study of the change dynamics in the average annual air temperature in the foothill plain zone, the weakening of the transformation rate and the appearance of signs of runoff accumulation (transaccumulative facies) show (Figure 2) that there is an increase in the average annual air temperature for the studied period of 1948-2020, that is, according to the Aydarly meteorological station is 2.2784°C and for Bakanas is -2.592 c.

Analysis of the change in the average annual air temperature in the runoff accumulation zone - the lowland class of landscapes (super-aquatic and subaqual facies) according to the Kuygan meteorological station for 1948-2020 is 2.5632°C.

The trend of changes in annual atmospheric precipitation in the mountainous zone of runoff formation (eluvial facies) in the period 1948-2020 is positive (Figure 3) and, according to the Narynkol meteorological station, annual precipitation increased by an average of 0.39 mm/year, in the foothill zone runoff transformation (transeluvial facies), their values increased on average for the meteorological stations Inin and Zharkent, respectively, by 0.75 mm / year and 2.90 mm / year (Figure 3).

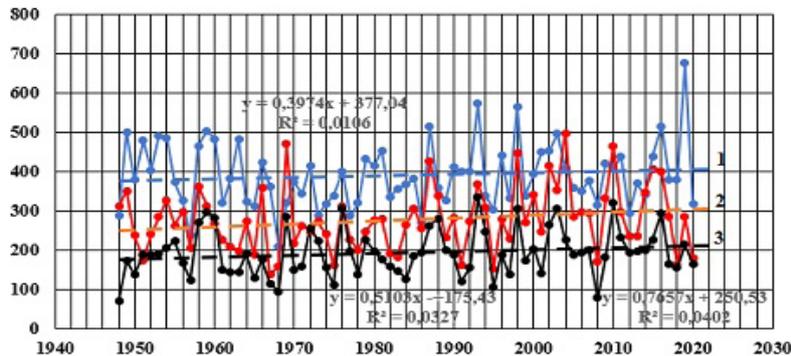


Figure 3 - Graph of changes in annual atmospheric precipitation for meteorological stations Narynkol (1), Inin (2) and Zharkent (3) for 1948-2020 and its linear trend.

At the same time, the change in annual atmospheric precipitation in the foothill plain zone, a weakening of the transformation rate and the appearance of signs of runoff accumulation (transaccumulative facies) according to the Aydarly meteorological station shows (Figure 4) that there is a decrease over the studied period of 1948-2020 at a rate of 0.027 mm / year and in the transition zone of the plain class of landscapes (super-aquatic and sub-aquatic facies), according to the Bakanas meteorological station, 0.0575 mm / year increases for 1948-2020.

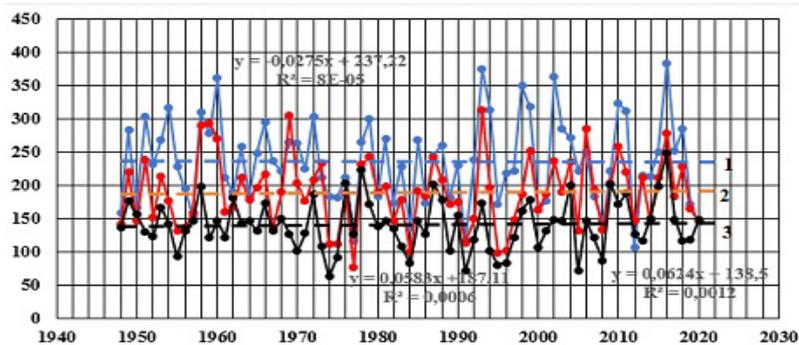


Figure 4- Graph of changes in annual atmospheric precipitation for the meteorological stations Aydarly (1), Bakanas (2) and Kuygan (3) for 1948-2020 and its linear trend.

The change in the annual atmospheric precipitation in the plain zone, the accumulation of runoff (super-aquatic and sub-aquatic facies) according to the Kuygan meteorological station for 1948-2020, increases by 0.615 mm / year.

Assessment of the statistical significance of the linear trend of long-term fluctuations of meteorological parameters at a reliable level of 95% indicates the non-stationarity of the average annual values of air temperature and annual precipitation for the study period, since a significant increase in average annual air temperatures and an insignificant increase in annual precipitation by 2020 in all studied meteorological stations located in the catchments of the Ili River basin.

To identify the periods within which the average long-term values of air temperature and annual precipitation are unchanged, the analysis of the statistical homogeneity of the time series of the investigated meteorological parameters was carried out in the following sequence: the graph of the difference integral curves, the graphical analysis of the integral curves and checking the significance of the trends of the studied characteristics within the statistically selected homogeneous periods.

To assess the interconnectedness and interdependence of the average annual air temperatures and annual precipitation in the catchment area of the Ili River basin, integral difference curves were constructed (Figures 5 and 6), which show that according to the difference integral series, the regular structure between them does not appear.

Analysis of the difference integral curves of average annual air temperatures showed that in all meteorological stations there is a tendency for their value to increase (Figure 5), and in annual atmospheric precipitation, fluctuations in their temporal spaces with certain patterns are observed (Figure 6), characteristic of the catchment area of the Ili River basin.

At the same time, there is simultaneously a significant increase in the average annual air temperature and the stability of annual atmospheric precipitation in the long-term section as a whole, which is probably related to the geographical location of the catchment area of the Ili River basin: runoff formation zones in the mountainous zone (eluvial facies), runoff transformation (transeluvial facies) in the foothill zone and the weakening of the transformation rate and the appearance of signs of runoff accumulation (transaccumulative facies) in the foothill plain zone with close locations of the Kapshagai reservoir and runoff accumulation (transaccumulative facies) in the plain zone of the activator of Lake Balkhash, which are determined by the formations of a specific climatic profile.

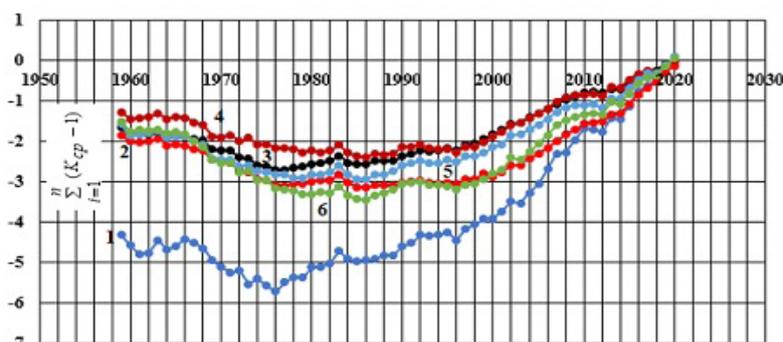


Figure 5- Graph of differential integral curves of average annual air temperatures for meteorological stations Narynkol (1), Inin (2), Zharkent (3), Aydarly (4), Bakanas (5) and Kuygan (6) located in the catchments of the Ili river basin

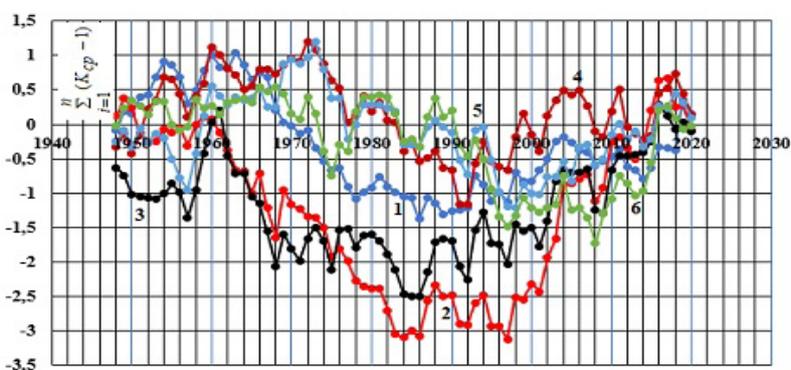


Figure 6 - Graph of differential integral annual atmospheric precipitation for meteorological stations Narynkol (1), Inin (2), Zharkent (3), Aydarly (4), Bakanas (5) and Kuygan (6) located in the catchment area of the Ili river basin.

To determine statistically homogeneous periods of meteorological parameters, the integral curve method was used, where, on the basis of graphical analysis, rectilinear sections of integral curves were identified, which were carried out according to the average annual air temperature and annual atmospheric precipitation (Figures 7 and 8).

The time series of the mean annual air temperature and annual atmospheric precipitation of the meteorological stations Narynkol, Inin, Zharkent, Aidarly, Bakanas and Kuygan, located in the catchments of the Ili River basin, covering 1928-2020, obey the normal distribution law.

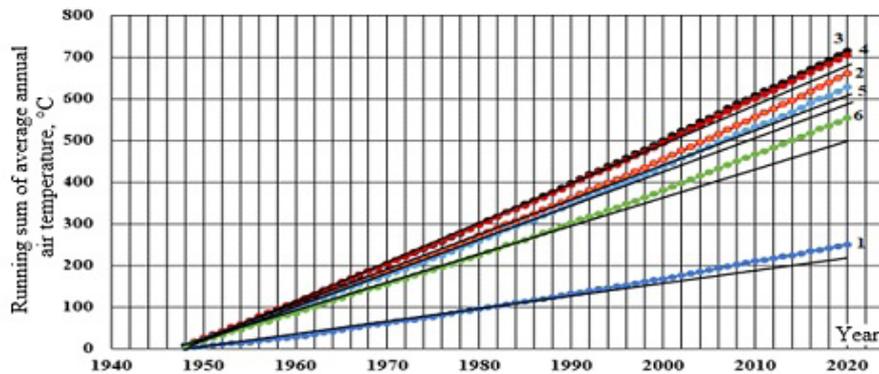


Figure 7 - Change in the running sum of average annual air temperature values at meteorological stations Narynkol (1), Inin (2), Zharkent (3) Aydarly (4), Bakanas (5) and Kuigan (6) located in the catchments of the Ili river basin.

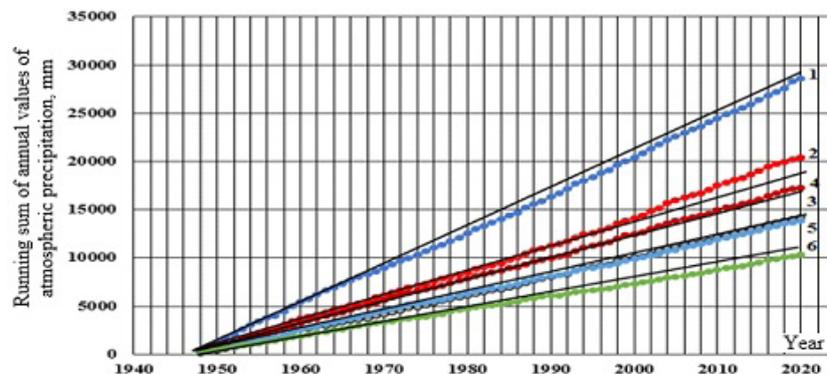


Figure 8- Change in the running sum of annual values of atmospheric precipitation in meteorological stations Narynkol (1), Inin (2), Zharkent (3) Aydarly (4), Bakanas (5) and Kuygan (6) located in the catchments of the Ili river basin.

Therefore, the assessment of the significance and violation of the homogeneity of the samples under study was carried out according to parametric and nonparametric criteria at a significance level of 5%, which confirmed the reliability of the graphically established violation of the homogeneity of the series of meteorological parameters. The results of the analysis of the statistical homogeneity of the time series of meteorological parameters of the catchment area of the Ili River basin are shown in Table 1.

By comparing the average values of meteorological parameters in the first and last of the statistically homogeneous time periods located in chronological sequence, the increase in the average annual air temperature and annual precipitation in the meteorological stations Narynkol, Inin, Zharkent, Aidarly, Bakanas and Kuygan, located in the catchments of the Ili river basin.

Table 1- The results of assessing the statistical homogeneity of time series of meteorological parameters of the catchment area of the Ili River basin

Meteorological stations	Average annual air temperature, °C		Annual precipitation, mm	
	Statistically homogeneous period	Average value	Statistically homogeneous period	Average value
Narynkol	1928-1970	2,68	1928-1970	389,0
	1971-2020	3,78	1971-2020	393,0
Inin	1928-1970	8,10	1928-1970	265,0
	1971-2020	9,50	1971-2020	285,0
Zharkent	1928-1970	8,80	1928-1970	179,0
	1971-2020	10,30	1971-2020	201,0
Aidarly	1928-1970	8,90	1928-1970	245,0
	1971-2020	10,0	1971-2020	232,0

Bakanas	1928-1970	7,70	1928-1970	197,0
	1971-2020	9,00	1971-2020	190,0
Kuygan	1928-1970	6,70	1928-1970	142,0
	1971-2020	8,00	1971-2020	140,0

According to the results of the studies carried out to study climate change in the spatio-temporal scales of the catchment area of the Ili River basin, it can be stated that the trend of change in the average annual air temperature is positive and significant, and the change in the quantitative values of annual atmospheric precipitation in the mountain and foothill zones is significant and in the foothill plain and plain zones - insignificant, which are determined by a significant degree of activity of natural mountain and water bodies.

**Conclusions:** The current trend of climate change in the Ili River catchment area shows that on a spatio-temporal scale, the average annual air temperature is gradually increasing in comparison with annual precipitation, which in the future may lead to a change in the areas of geographical zones with an increase in the aridization of the region's climate.

#### Information about the authors:

**Mustafayev Zhumakhan Suleimenovich** – Doctor of Technical Sciences, Professor, «Institute of Geography and Water Safety» JSC; z-mustafa@rambler.ru; <https://orcid.org/0000-0003-24258148>;

**Ryskulbekova Laura Meldakhanovna** – Document PhD of the Department «Water Resources and Land Reclamation», Kazakh National Agrarian University; ryskulbekova.laura@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-1374-5920>.

#### REFERENCES

- [1] Burlibaev M.Zh., Amirgaliev N.A., Shenberger I.V., Sokolsky V.A., Burlibaeva D.M., Uvarov D.V., Smirnova D.A., Efimenko A.V., Milyukov D.YU. Problems of pollution of the main transboundary rivers of Kazakhstan-Almaty: Publishing house «Kanagat», 2014.- volume 1.-744 p.
- [2] Scientific and applied reference book on the climate of the USSR. Series 13: Long-term data. Part 1-6, issue 18: KazSSR. - Leningrad: Gidrometeoizdat, 1989. - Book. 2.- 656 p.
- [3] Mustafayev Zh.S., Arvidis Povilaitis, Ryskulbekova L.N. Assessment of the natural and climatic potential of the catchment area of the Ili river basin // Research, results, 2019.-№1.- P. 103-111.
- [4] Climate Change 2007, 2007. The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor, and H.L. Miller (eds.), Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, Cambridge University Press, 966 p.
- [5] Fourth Assessment Report of the IPCC. Climate Change 2007: Synthesis Report. Summary for Policymakers. - WMO-UNEP, 2007.
- [6] Sonechkin D.M., Astafyeva N.M., Datsenko N.M. et al. Multiscale Oscillations of the Global Climate System as Revealed by Wavelet Transform of Observational Data Time Series // Theoretical Applied Climatology. 1999. № 64 P. 131-142.
- [7] Climate change 1992: The supplementary report to the IPCC assessment / Eds. Houghton J.T., Callande B.A., Varney S.K. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1992. 200 p.
- [8] Skotselyas I.I., Golubtsov V.V., Lee V.I. Possible changes of surface water resources of Kazakhstan in XXI century \ Water: a looming crisis? International Conference on World Water Resources at the beginning of the 21 st Century (UNESCO, Paris, 3-6 June 1998. IHP-V | Technical Documents in Hydrology | No 18 UNESCO, Paris, 1998, p.315-320.
- [9] Yafyazova R.K. 2003. Influence of climate change on mudflow activity on the northern slope of the Zailiysky Alatau Mountains, Kazakhstan. Proceedings of the Third International Conference on Debris-Flow Hazards Mitigation: Mechanics, Prediction, and Assessment, Davos, Switzerland, September 10-12, 2003, pp. 199-204.
- [10] M. Parry. Scenarios for climate impact and adaptation assessment. // Global Environmental Change, Vol. 12, № 2, October 2002, p.149-143.
- [11] Flato G.M., G.J. Boer, W.G. Lee, N.A. McFarlane, D. Ramsden, M.C. Reader and A.J. Weaver, 2000: The Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis global coupled model and its climate. Clim. Dyn., 16, 451-467.
- [12] Giorgi F., M.R. Marinucci, G.T. Bates and G. DeCanio, 1993: Development of a second generation

regional climate model (RegCM2). Part II Convective processes and assimilation of lateral boundary conditions. *Mon. Weather Rev.*, 121, 2814-2832.

[13] Park H., Sherstiukov A.B., Fedorov A.N., Polyakov I.V., Walsh J.E. An observationbased assessment of the influences of air temperature and snow depth on soil temperature in Russia // *Environ. Res. Lett.* – 2014. – V. 9, No 6. – Art. 064026, P. 1–7. – doi: 10.1088/1748-9326/9/6/064.

[14] Golosov V., Gusarov A., Litvin L., Yermolaev O., Chizhikova N., Safina G., Kiryukhina Z. Evaluation of soil erosion rates in the southern half of the Russian plain: Methodology and initial results // *Proc. IAHS.* – 2017. – V. 375. – P. 23–27. – doi: 10.5194/piahs-375-23-2017.

[15] Кондратьев К.Я. Изменения глобального климата: реальность, предположения и вымыслы. *Исследование Земли из космоса.* 2002, № 1. С. 3-28.

[16] Kireicheva L.V., Kozykeeva A.T., Dautetbai S.D. Complex development of the Shu river (monograph), Saarbrücken. Deutschland. 2016. -140 p.

[17] Mustafayev Zh.S., Kozykeeva A.T., Ryskulbekova L.N. Geomorphological schematization of the catchment area of the Ili river basin // *Research, Results*, 2020.- №1 (85).- P. 221-331.

[18] Arnell N.W. Climate change and global water resources // *Glob. Environ. Change.* 1999. V. 9. Suppl. 1. P. 31–49.

[19] Allen M.R. and Ingram W.J. Constraints on future changes in climate and the hydrologic cycle. - *Nature*, 2002, vol. 419, pp. 224-232.

[20] Arnell N.W. Climate change and global water resources: SRES emission and socio-economic scenarios. *Global Environmental Change*, 2004, vol. 14, pp. 31-52.

REPORTS OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES  
OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN  
ISSN 2224-5227

Volume 1, Number 341 (2022), 110-116

<https://doi.org/10.32014/2022.2518-1483.139>

G.E. Sagyndykova<sup>1</sup>, S.Zh. Kazbekova<sup>1</sup>, E. Elsts<sup>2</sup>, G.A. Abdenova<sup>1</sup>, Zh.K. Yermekova<sup>1</sup>

<sup>1</sup>L.N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, Kazakhstan;

<sup>2</sup>Institute of Solid State Physics University of Latvia, Riga, Latvia.

E-mail: edgars.elsts@cfi.lu.lv

PHOTOLUMINESCENCE OF LiKSO<sub>4</sub> ACTIVATED BY TL<sup>+</sup> IONS

**Abstract.** The study of the radiation and optical properties of dielectric crystals stimulates the requirements of modern technology and technics. Operating conditions are becoming more challenging. Structural materials should not lose their properties in aggressive environments, in strong electric and magnetic fields, at high pressures and temperatures, under conditions of exposure to ionizing radiation. This article is devoted to the establishment of the nature of the luminescence centers in LiKSO<sub>4</sub> crystals doped with Tl<sup>+</sup> ions. LiKSO<sub>4</sub> sulfates form a wide class of ionic-covalent compounds with tetrahedral anions. By the type of chemical bond and the structure of the crystal lattice, they are similar to almost 2000 compounds. From this point of view, alkali metal sulfates appear to be a convenient model system for studying relaxation processes in interaction with radiation. Many of the sulfates are easily grown, which makes it possible to pose various problems in studying the properties of impurity ions of the cationic subsystem. The results of studying the effect of mercury-like impurity ions on recombination processes in complex lithium-potassium sulfate in the temperature range 80-300K are presented. It was found experimentally that the crystals are not colored when LiKSO<sub>4</sub> is irradiated with ionizing radiation. This significantly complicates the establishment of the mechanisms of various radiation-stimulated processes.

**Key words:** photoluminescence, recombination luminescence, sulfates, activated by thallium, crystals.

Г.Е. Сағындықова<sup>1</sup>, С.Ж. Қазбекова<sup>1</sup>, Э. Елстс<sup>2\*</sup>, Г.А. Абденова<sup>1</sup>, Ж.К. Ермекова<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Нұр-Сұлтан, Қазақстан;

<sup>2</sup>Латвия университетінің қатты дене физикасы институты, Рига, Латвия.

E-mail: edgars.elsts@cfi.lu.lv

TL<sup>+</sup> ИОНДАРЫМЕН АКТИВТЕНДІРІЛГЕН LiKSO<sub>4</sub> КРИСТАЛЫНЫҢ  
ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯСЫ

**Аннотация.** Қазіргі заманғы техника мен технологияның даму талабына сәйкес, диэлектрлік кристалдардың радиациялық және оптикалық қасиеттерін зерттеу өзекті болып отыр. Техниканың эксплуатациялық жағдайлары жылдан жылға күрделене түсуде. Конструкциялық материалдар белсенді ортада, күшті электр және магнит өрістерінде, жоғарғы қысым мен температурада, иондық сәулелердің әсерінде болғанда өздерінің қасиеттерін өзгертпеу керек. Дәстүрлі конструкциялық материалдардың физикалық қасиеттері модификациясының технологиясын жасау қазіргі уақытта қарқынды дамыған бағыттардың бірі. Бұл мақала Tl<sup>+</sup> иондарымен активтендірілген аралас LiKSO<sub>4</sub> кристалдарына арналған. LiKSO<sub>4</sub> кристалдары тетраэдрлік аниондармен иондық-коваленттік қосылыстардың кең классын құрайды. Олар химиялық байланыс түріне және кристалдық тордың құрылымына сәйкес 2000-ға жуық қосылыстардан тұратындығы белгілі, сондықтан сілтілі металдар сульфаттарының кристалдары сәулемен әсерлескен кездегі жүретін релаксациялық процестерін зерттеу өте ыңғайлы. Көптеген сульфаттар оңай өсіріледі, сол себепті олардың қоспа иондарының катиондық жүйелерін зерттеуде әртүрлі есептерді қоюға және шешуге болады. Ұсынылып отырған жұмыста Tl<sup>+</sup> иондарымен активтендірілген аралас LiKSO<sub>4</sub> кристалдарының люминесценция орталықтарының табиғатын анықтауға арналған. 80-300K температуралық аймақта күрделі литий-калий сульфаты кристалдарының рекомбинациялық процестеріне сынап тәріздес қоспа иондарының әсері зерттеліп, нәтижесі көрсетіліп отыр. LiKSO<sub>4</sub> кристалдарына иондаушы сәулемен әсер еткенде

кристалдың боялмайтындығы эксперименталды тағайындалды. Бұл жағдай көптеген радиациялық стимулденген процестердің механизімін тағайындауды күрделендіретіндігі белгілі. Активтендірілген кристалдардың рекомбинациялық люминесценциясын зерттеу процестердің жүруін тағайындайтын әдіс болып табылады, соңында зерттеліп отырған матрицаның радиациялық ақауларының рекомбинациялық механизмдері тағайындалады.

**Түйін сөздер:** фотолюминесценция, рекомбинациялық люминесценция, сульфаттар, таллий ионымен активтендірілген,  $\text{LiKSO}_4$  кристалдары.

Г.Е. Сағындыкова<sup>1</sup>, С.Ж. Казбекова<sup>1</sup>, Э. Елстс<sup>2\*</sup>, Г.А. Абденова<sup>1</sup>, Ж.К. Еркемова<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Евразийский Национальный Университет им Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан;

<sup>2</sup>Институт физики твердого тела Латвийского университета, Рига, Латвия.

E-mail: edgars.elsts@cfi.lu.lv

### ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ $\text{LiKSO}_4$ , АКТИВИРОВАННЫХ ИОНАМИ $\text{Tl}^+$

**Аннотация.** Исследования радиационных и оптических свойств диэлектрических кристаллов обусловлены требованиями современных технологий. Условия эксплуатации становятся более сложными. Конструкционные материалы не должны терять свойств в агрессивных средах, в сильных электрических и магнитных полях, при высоких давлениях и температурах, в условиях воздействия ионизирующих излучений. Одним из наиболее перспективных направлений в наше время является разработка технологий модификации физических свойств, традиционных конструкционных материалов. Объектами исследования в данной работе являются кристаллы смешанного сульфата лития и калия ( $\text{LiKSO}_4$ ). Сульфаты  $\text{LiKSO}_4$  образуют обширный класс ионно-ковалентных соединений с тетраэдрическими анионами. Они по типу химической связи и строению кристаллической решетки подобны почти 2000 соединениям. С этой точки зрения сульфаты щелочных металлов представляются удобной модельной системой для изучения процессов релаксации при взаимодействии с излучением. Многие из сульфатов легко выращиваются, что и позволяет ставить различные задачи по исследованию свойств примесных ионов катионной подсистемы. Данная статья посвящена установлению природы центров люминесценции в кристаллах  $\text{LiKSO}_4$ , активированных ионами  $\text{Tl}^+$ . Приводятся результаты по изучению влияния ртути подобных примесных ионов на рекомбинационные процессы в сложном литий-калий сульфате в температурном диапазоне 80-300K. Экспериментально установлено, что при облучении  $\text{LiKSO}_4$  ионизирующей радиацией кристаллы не окрашиваются. Это существенно затрудняет установление механизмов различных радиационно-стимулированных процессов. Исследование рекомбинационной люминесценции в активированных кристаллах является методическим приемом для установления знака процесса и, в конечном итоге, механизмов рекомбинации радиационных дефектов матрицы.

**Ключевые слова:** фотолюминесценция, рекомбинационная люминесценция, сульфаты, активированные таллием,  $\text{LiKSO}_4$  кристаллы.

**Introduction.** The  $\text{LiKSO}_4$  are crystals with mixed types of the chemical bond: between sub lattice is ionic and in sulfate anion – covalent. These crystals are transparent in wide spectral range [1]. The physical properties of  $\text{LiKSO}_4$  have been extensively studied and established that this ferroelastic compound exhibits a rich variety of structural phase transitions [2].

Most of the sulfates are being grown easily which allows setting different tasks in research of qualities of ions with impurity additives of cationic subsystem. Characteristics of mercury-like ions are well studied in cubic crystalline-ion crystals. Therefore, they are good luminescent probes for investigation of different processes in crystals. Crystals of complex lithium and potassium sulfate in temperature range 80-300K have two polymorphic phase-transitions. Parameters of impurity of luminescence's centers can be divided into static and dynamic. Specifications of foreign color centers of fluorescence may be roughly divided into static and dynamic. To static could be attributed for instance the maximal position of the optic stripes [3]. With temperature of liquid nitrogen the maximum of absorption is near 5.55 eV. The typical red displacement generates the heat. The maximum of absorption is being moved towards the big long waves. It allows us to set goals in field of foreign color's characteristics study in different symmetry crystalline without changing chemical composition. The article is dedicated to study spectrally fluorescent characteristics of crystals  $\text{LiKSO}_4$ , activated by ions  $\text{Tl}^+$ .

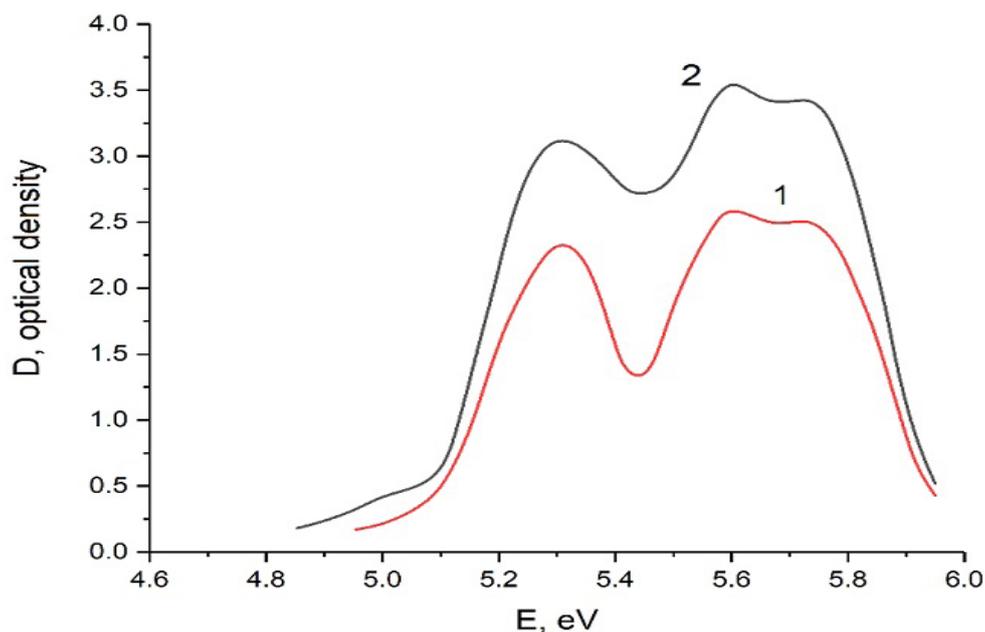
**Objects and research methods.** The main objects of research are pure and activated crystals of complex lithium and potassium sulfate -  $\text{LiKSO}_4$  crystals. Alkali metal sulfates are water-soluble compounds. Therefore, the simplest way to obtain single crystals is to grow them from saturated aqueous solutions [4]. The preparation of research objects, both pure and activated, is influenced by differences in physical and chemical properties.

$\text{LiKSO}_4$  crystals (activated by thallium ions) were obtained by adding  $\text{Tl}_2\text{SO}_4$  and  $\text{TlCl}$  salts to the initial aqueous solution. Thallium sulfate salt and thallium chloride were used as activators to establish the influence of chlorine ions, crystals were grown with the addition of potassium chloride to the mother liquor. It has been established by experiment, which means that when the  $\text{KCl}$  salt is added to the aqueous absorption bands do not appear in the energy range of 1.5-6.2 eV, i.e. in the region of transparency of the crystal. Optical properties of complex sulfate do not depend on the type of thallium salt used for activation.

**Experimental results. Absorption spectrum of  $\text{LiKSO}_4\text{Tl}^+$ .** Figure 1 shows the absorption spectrum for the  $\text{LiKSO}_4\text{Tl}^+$  crystal at room temperature. Curve 1 corresponds to the existence of thallium sulfate in the initial solution in the amount of 0.01 mol %, curve 2 - 0.05 mol %.

Three optical absorption bands are observed with maxima at 5.3 eV, 5.6 eV, and 5.75 eV. A similar absorption spectrum was obtained when thallium chloride crystals were used for activation. It has been experimentally established that the optical density of the observed absorption bands increases with an increase in the concentration of impurity ions. There are no such absorption bands in non-activated  $\text{LiKSO}_4$  crystals [5,6].

Figure 2 shows the absorption spectrum measured at 80K. There are maxima at 5.38 eV, 5.55 eV, and 5.7 eV. It should be noted that, with decreasing temperature, the intracenter processes are characterized by a blue shift by the maximum of the optical bands. In the  $\text{LiKSO}_4$  crystal, this regularity is violated for the long-wavelength optical band. This is due to the fact that when the temperature is lowered from 300K to 80K, two polymorphic phase transitions occur in lithium-potassium sulfate [7-9].



1 - Concentration of impurity ions 0.01 mol %

2 - Concentration of impurity ions 0.05 mol %.

Figure 1 - Absorption spectrum of  $\text{LiKSO}_4\text{Tl}^+$  crystal at room temperature.

In the absorption spectrum at 80 K for the  $\text{LiKSO}_4\text{Tl}^+$  crystal grown from a solution containing 0.05 mol % of an activating salt, a weak additional absorption band appears on the long-wavelength part of the absorption band with a maximum at 5.38 eV. At room temperature, it is observed in the region of 5.0 eV. The additional absorption band at 80K and 300K disappears, when concentration of impurity ions decreases. It is associated with paired impurity centers. Thallium ions with increasing concentration have a tendency to form paired impurity centers, the absorption bands of which are shifted relative to single impurity centers to the long-wavelength side. Therefore all spectral-luminescence studies were carried out on  $\text{LiKSO}_4$  crystals grown from aqueous solutions with a concentration of 0.01 mol % of impurity ions.

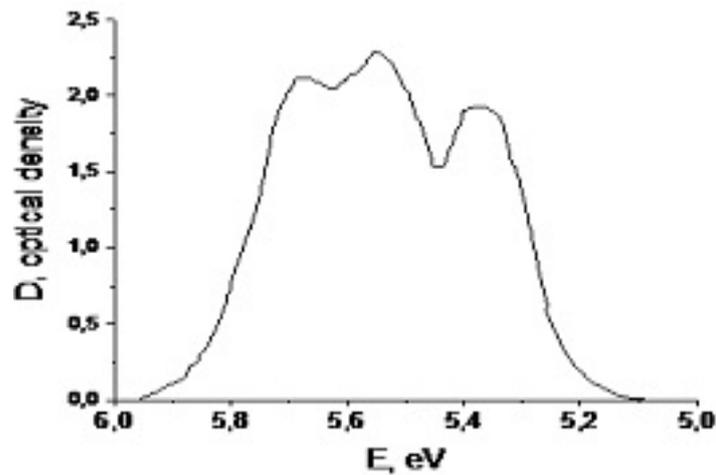


Figure 2 - Absorption spectrum of  $\text{LiKSO}_4\text{Tl}^+$  crystal at 80K  
The concentration of impurity ions is 0.01 mol %

**Photoluminescence of  $\text{LiKSO}_4\text{Tl}^+$ .** The absorption spectra for the  $\text{LiKSO}_4\text{Tl}^+$  crystal suggest the formation of two types of impurity centers. This is possible if thallium ions replace potassium and lithium ions in the crystal lattice of this compound. Since the symmetry and coordination numbers of impurity centers in nonequivalent cation sites are different, they should have different luminescence characteristics [8].

Figure 3 shows the emission (curve 1) and excitation (curve 2) spectra for the  $\text{LiKSO}_4\text{Tl}^+$  crystal measured at room temperature. The emission spectrum was obtained with excitation in the 5.3 eV band. Two emission bands are observed - the main one has a maximum at 3.4 eV, the second, less intense, has a maximum at 4.2 eV. The excitation spectrum represented by curve 2 in Figure 3 was measured for the long-wavelength wing of the emission band with a maximum at 3.4 eV. It has the form of a single band with a maximum at 5.3 eV. Note that, upon excitation of photoluminescence on the long-wavelength wing of the absorption band at 5.3 eV, the luminescence intensity of 4.2 eV decreases.

Thereby, the three optical absorption bands are divided into two groups in accordance with the observed photoluminescence emission bands. Using the method of moments, it was found that both optical emission bands with maxima at 3.4 eV and 4.2 eV are well approximated by Gaussian curves. The spectral width is 0.21 eV and 0.28 eV, respectively. Deviations from the Gaussian curve become significant at a level below 0.1-0.15 of the maximum radiation intensity. The fact that the optical bands are well approximated by Gaussian curves makes it possible to use the harmonic approximation for their processing.

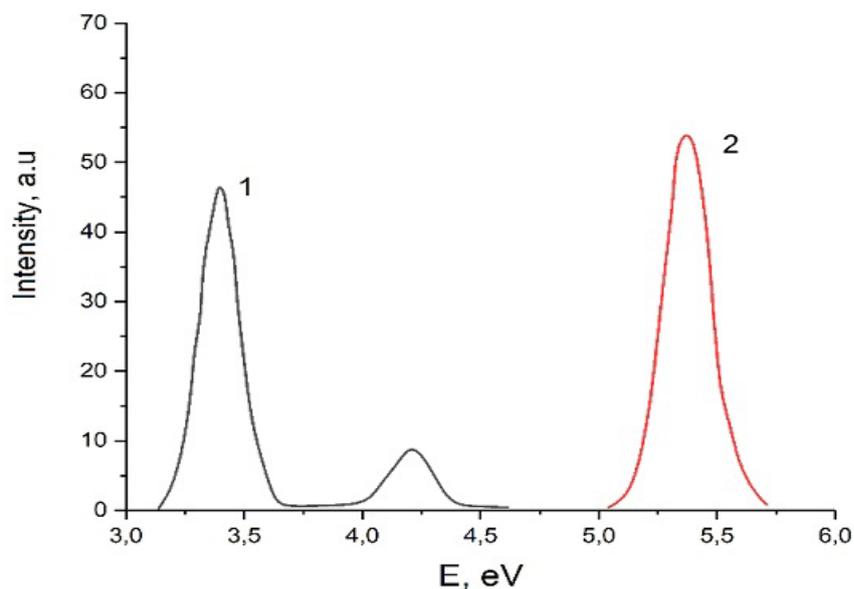


Figure 3 - Emission and excitation spectra for the  $\text{LiKSO}_4\text{Tl}^+$  crystal at room temperature  
1 – Excitation spectrum for luminescence 3.4 eV  
2 - Emission spectrum upon excitation in the 5.3 eV band

Changes were made in the emission and photoluminescence excitation spectra of the  $\text{LiKSO}_4\text{Tl}^+$  crystal at liquid nitrogen temperature. Figure 4 shows the results. Crystal is excited on the long-wavelength wing of the absorption band with a maximum at 5.38 eV, the maximum at 3.45 eV (curve 3). The excitation spectrum of this radiation is presented by curve 4 of Figure 4. Excitation of the sample on the short-wavelength wing of the absorption band with a maximum of 5.7 eV, the maximum of the photoluminescence emission observed at 4.3 eV (curve 1). The excitation spectrum of this luminescence is shown on curve 2.

**Discussion.** An analysis of the shape of the photoluminescence emission bands of a lithium and potassium sulfate crystal doped with monovalent thallium ions showed that they are well described by Gaussian curves with an optical width at half maximum of 0.2 eV for the long-wavelength emission band and 0.25 eV for the short-wavelength band. Deviations from the Gaussian shape take place on the wings of the emission bands at a level below 0.2 of the maximum intensity.

A good approximation of the contours of optical bands by Gaussian curves makes it possible to analyze the spectral-luminescent properties of thallium ions in a lithium-potassium sulfate matrix in the harmonic oscillator approximation.

Thus, the emission and excitation spectra show the existence of two types of thallium ion luminescence centers in lithium-potassium sulfate. Based on the obtained experimental results and group-theoretical analysis, it can be argued that the emission band at 3.45 eV and excitation at 5.38 eV are associated with the thallium ion replacing the lithium ion, and the emission band at 4.3 eV and excitation at 5.55 eV and 5.7 eV are associated with the thallium ion replacing the potassium ion. The observed splitting is due to the lower symmetry of the impurity center at a given site of the crystal lattice.

Differences in the properties of thallium impurity ions occupying cation sites instead of potassium or lithium ions are most pronounced in temperature measurements. A feature of lithium-potassium sulfate is the presence of two polymorphic phase transitions in the temperature range of 80-300K. They occur in the heating mode at 180K and 250K.

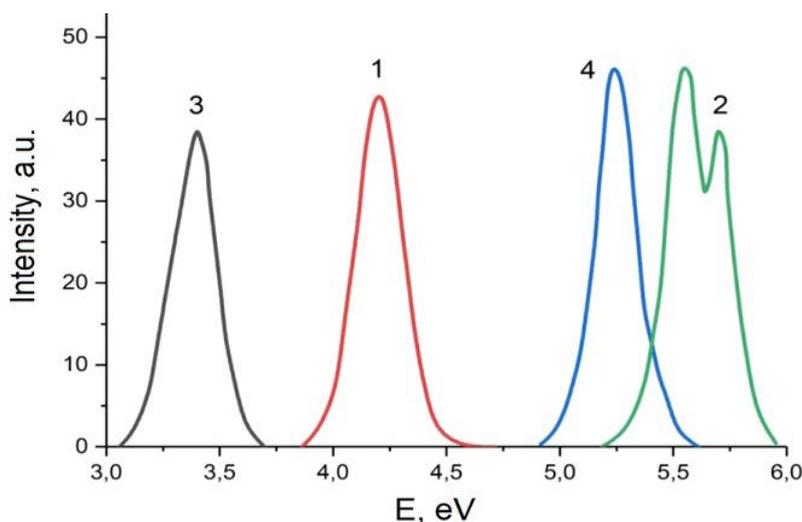


Figure 4 - Emission and excitation spectra of  $\text{LiKSO}_4\text{Tl}^+$  crystal at liquid nitrogen temperature.

- 1 - Emission spectrum upon excitation in the 5.5 eV band
- 2 - Excitation spectrum for radiation with a maximum at 4.2 eV
- 3 - Emission spectrum upon excitation in the 5.3 eV band
- 4 - Excitation spectrum for radiation with a maximum at 3.45 eV

When the  $\text{LiKSO}_4$  crystal lattice is rearranged, a qualitative change in the shape of the photoluminescence excitation spectra of thallium ions is observed. For the long-wavelength emission band, the excitation spectrum in the temperature range of 80-180K and 250-300K has the form of a single band; in the range of 180-250K, it splits.

Figure 5 shows the excitation spectra for the long-wavelength photoluminescence band measured at 190 K (1) and 240 K (2). It can be seen that there are two optical bands, i.e. the degeneracy was partially lifted. The lifting of the degeneracy at temperatures above 180 K is associated with a decrease in the symmetry of the impurity center. This is possible for two reasons: changes in the structure of the immediate environment or interactions with non-totally symmetric vibrations.

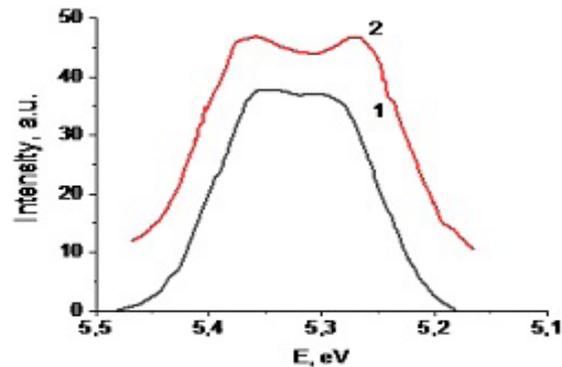


Figure 5 - Luminescence excitation spectrum measured at 190 K(1) and 240 K(2) of the  $\text{LiKSO}_4\text{Tl}^+$  crystal

It was found experimentally that the splitting in the excitation spectrum for the short-wavelength emission band is independent of temperature. As the temperature rises within the limits of one crystalline phase, the redshift of the position by the maximum of the optical bands and their broadening, which is common for intracenter processes, are observed. The magnitude of the splitting of the  $^3P_1$  level of the thallium ion, which occupies the position of the potassium ion, within one phase, does not depend on temperature [15-17].

At polymorphic phase transitions, the shape of the excitation spectrum of short-wavelength luminescence does not qualitatively change.

For the long-wavelength optical emission band, the splitting in the excitation spectrum at 190 K is 0.08 eV, and at 240 K it is 0.11 eV. As the temperature rises, it increases. The resulting increase in the splitting of the excited level of the thallium ion replacing lithium with increasing temperature lies outside the experimental error. The result shown in Fig. 5 was obtained when the output slit of the SF-16 monochromator was 0.3 mm. When the size of the exit slit on the optical device is more than 1 mm, due to dispersion, the optical bands are clearly not resolved. However, analysis of the shape of the contour of the obtained photoluminescence excitation spectrum by the method of moments shows its strong deviation from the Gaussian shape.

Since in the temperature range 180-250 K the splitting value of the short-wavelength bands in the photoluminescence excitation spectrum does not depend on temperature and is associated with a lower point symmetry group of the impurity ion, the long-wavelength optical band arising in the excitation spectrum occurs due to interaction with non-totally symmetric vibrations, and the dynamic Jahn-Teller effect takes place [9-12].

The vibrations are not totally symmetric with respect to the impurity ion. In principle, these can be totally symmetric vibrations of oxygen atoms in the anion. It is only necessary that the oxygen atoms, which are part of different anions, vibrate in antiphase.

In this case, the point symmetry group of the impurity ion will decrease from  $T_d$  to  $C_{3v}$ . This is already enough for the  $^3P_1$  level to split into two sublevels, one doubly degenerate, and the second nondegenerate (Figure 6). As the temperature rises, the amplitude of the oscillations increases. This leads to an increase in the perturbing effect on the electronic states of the impurity center.

Vibrational spectra and mechanisms of polymorphic phase transitions in the  $\text{LiKSO}_4$  crystal have been insufficiently studied. It was shown that the available data are contradictory; there is no generally accepted model of polymorphic phase transitions [13,14]. This leads to difficulties in interpreting the temperature behavior of the excited state of the thallium ion in the given matrix. However, the above result is an additional argument in favor of the fact that the observed absorption bands are associated with the A-band of thallium ions, and they form two types of impurity centers.

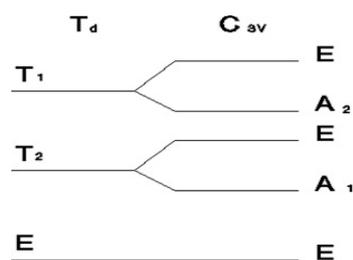


Figure 6 - A splitting scheme for the state under the reduction of irreducible representations of the group  $T_d$  and over the subgroup  $C_{3v}$

**Conclusion.** The analysis of the shape of the photoluminescence emission bands of a lithium and potassium sulfate crystal doped with monovalent thallium ions showed that they are well described by Gaussian curves with an optical width at half maximum of 0.2 eV for the long-wavelength emission band and 0.25 eV for the short-wavelength band.

The emission and excitation spectra show the existence of two types of thallium ion luminescence centers in lithium-potassium sulfate. Based on the obtained experimental results and group-theoretical analysis, it can be argued that the emission band at 3.45 eV and excitation at 5.38 eV are associated with the thallium ion replacing the lithium ion, and the emission band at 4.3 eV and excitation at 5.55 eV and 5.7 eV are associated with the thallium ion replacing the potassium ion.

#### Information about the authors:

**Sagyndykova G.E.** – cand.ph.-m.sc., docent, L.N.Gumilyov Eurasian National University, Kazhmukan M, 13, Nur-Sultan, phone number: +77479422577 gibrat75@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5792-8799>;

**Kazbekova S. Zh.** – undergraduate L.N. Gumilyov Eurasian National University, Kazhmukan M, 13, Nur-Sultan, phone number: +77474693059 skazbekova27@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-7033-782X>;

**Edgars Elsts PhD** – Institute of Solid State Physics University of Latvia, Riga, Latvia, e-mail: edgars.elsts@cfi.lu.lv, <https://orcid.org/0000-0003-2117-5603>;

**Abdenova G.A.** – cand.tech.sc., docent, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Kazhmukan M, 13, Nur-Sultan, phone number: +77018998008 gauhar.phd@gmail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9652-4770>;

**Yermekova Zh.K.** – cand.ped.sc., docent, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Kazhmukan M, 13, Nur-Sultan, phone number: +77016806298 hadyra-ermekova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7706-3160>.

#### REFERENCES

[1] Pinheiro C.B., Pimenta M.A. Analysis of LiKSO<sub>4</sub> crystals in the temperature range from 573 to 943 K// Acta Crystallographica. Section B, Structural Science 56(Pt 4) p.607-617, 2000.

[2] Quirion G., Abu-Kharma M. Investigation of the elastic properties of LiKSO<sub>4</sub> as a function of temperature and pressure, Journal of Physics Condensed Matter 15, 4979 - 4993, 2003.

[3] Aleksandrov K.S., Beznosikov B.V. Structural phase transitions in crystals (potassium sulfate family). Novosibirsk, 1993, p. 287.

[4] Baltabekov A.S., Koketay T.Ф. Recombination processes in activated crystals of potassium sulfate and phosphate: Monograph - Karaganda: 25.10 2019. - 138 pages.

[5] El,Fadl A.A., Gaffar M.A., Jmar M.H. Absorption spectra and optical parameters of lithium, potassiumsulphate single crystals//Physica B, 1999.V. 3,4. p.403-408.

[6] Sagyndykova G.E. Photoluminescence of LiKSO<sub>4</sub> Crystals. Bulletin of the KSU physical series, 2001, No. 1 (21), pp. 145-150.

[7] Kuketaev T.A., Kim L.M., Musenova E.K. Phase transitions and recombination luminescence in LiKSO<sub>4</sub> Baspa crystals Vestnik KarGU ser. fiz.-mat., 1999, No. 1 (13), pp. 36-43.

[8] Sagyndykova G.E., Pazyzbekov S.A., Nyshanova N.Zh. Photoluminescence of LiKSO<sub>4</sub> crystals activated by mercury-like ions // Vestnik of ENU im. L.N. Gumilyov, 2012, No. 2, p.70-75.

[9] Koketayev T.A. and Tussupbekova A.K., Polymorphic phase transitions and recombination luminescence in ammonium halide crystals, Physical Sciences and Technology. Vol. 6 (No. 3-4), 2019: 71-78.

[10] Christofel N.N. On the Jahn - Teller effect for luminescence centers in crystals. // Proceedings of the IFA AN ESSR, 1960, No. 12, pp. 20-41.

[11] Setoudeh N., Nosrati A. & Welham N.J. Lithium recovery from mechanically activated mixtures of lepidolite and sodium sulfate// Mineral Processing and Extractive Metallurgy: Transactions of the Institute of Mining and Metallurgy, (2019). doi:10.1080/25726641.2019.1649112.

[12] Yurtseven H. High TemperatureТом 56, Выпуск 3, Страницы 462 - 4651 May 2018Analysis of the Specific Heat of Ru Doped LiKSO<sub>4</sub> Close to Phase Transitions

[13] Kuketaev T.A., Sagyndykova G.E., Murashova Z.F. Thermally stimulated luminescence of potassium sulfate activated by mercury-like ions// Proceedings of the 3rd International Scientific Conference “Chaos and Structures in Nonlinear Systems. Theory and experiment «Karaganda, 2002, pp. 136-139.

[14] Kuketaev T.A., Tagaeva B., Zhusupov A.A. Influence of polymorphic phase transitions on the properties of divalent mercury-like tin ions in LiKSO<sub>4</sub> crystals// Materials of the international scientific-practical conference «Valikhanov readings - 9», Kokshetau, 2004, vol. 4, pp .234-237.

[15] Ismailov Zh.T., Kim L.M., Kuketaev T.A. Musenova E.K. Phase transitions and recombination luminescence in LiKSO<sub>4</sub> // Materials of the Ural seminar “Scintillation materials and their application”, Yekaterinburg, 2000, pp.23-27.

REPORTS OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES  
OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN  
ISSN 2224-5227

Volume 1, Number 341 (2022), 117-123

<https://doi.org/10.32014/2022.2518-1483.140>

UDC 620.19:621.31

**M. Skakov<sup>1</sup>, As. Zhilkashinova<sup>2\*</sup>, I. Ocheredko<sup>2</sup>, Al. Zhilkashinova<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>National Nuclear Center, Kurchatov, Kazakhstan;

<sup>2</sup>Sarsen Amanzholov East Kazakhstan University, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan.

E-mail: [asssel2462@mail.ru](mailto:asssel2462@mail.ru)

**COMPUTATIONAL - EXPERIMENTAL METHOD OF FORECASTING THE LIFETIME  
OF CO-CR-AL-Y COMPOSITE COATINGS**

**Abstract.** The article describes a magnetron method for applying a multilayer Co-Cr-Al-Y coating on a steel substrate. Studies of the erosion and corrosion resistance of steel samples and samples with coatings have been carried out. The finite element method simulated the operation of the turbine under the influence of abrasive particles. The erosive load on the turbine blades was modeled, based on the experimental data on erosion and corrosion resistance, the durability was estimated taking into account the zones of the most intensive wear of the blades. It is established that the blades have uneven wear. Calculations showed that the resource of turbines with coatings based on Co-Cr-Al-Y is two times higher than turbines made of 12X13 alloy.

**Key words:** coating, structural-phase state, blades of gas-turbine engines, magnetron, finite element method.

**М.К. Скаков<sup>1</sup>, Ас.М. Жилкашинова<sup>2\*</sup>, Ал.М. Жилкашинова<sup>2</sup>, И.А. Очередько<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Қазақстан Республикасының Ұлттық ядролық орталығы, Курчатов, Қазақстан;

<sup>2</sup>Сәрсен Аманжолов атындағы Шығыс Қазақстан университеті, Өскемен, Қазақстан.

E-mail: [asssel2462@mail.ru](mailto:asssel2462@mail.ru)

**СО-CR-AL-Y КОМПОЗИТТІК ЖАБЫНДАРЫНЫҢ ҚЫЗМЕТ ЕТУ МЕРЗІМІН  
БОЛЖАУДЫҢ ЕСЕПТІК-ЭКСПЕРИМЕНТТІК ӘДІСІ**

**Аннотация.** Мақалада болат субстратқа көп қабатты Со-Сг-Аl-У жабынының магнетронды әдісі сипатталған. Болат үлгілері мен жабыны бар үлгілердің эрозиялық және коррозияға төзімділігі бойынша зерттеулер жүргізілді. Соңғы элементтер әдісі абразивті бөлшектердің әсерінен турбинаның жұмысын модельдейді. Турбина қалақтарына эрозиялық жүктеме модельденді, эрозиялық және коррозияға төзімділіктің эксперименттік деректері негізінде пышақтардың ең қарқынды тозу аймақтарын ескере отырып, беріктікке баға берілді. Пышақтардың біркелкі емес тозуы анықталды. Есептеулер Со-Сг-Аl-У негізіндегі жабындары бар турбиналардың ресурсы 12x13 қорытпасынан жасалған турбиналарға қарағанда екі есе жоғары екенін көрсетті.

**Түйін сөздер:** жабын, құрылымдық-фазалық күй, газтурбиналық қозғалтқыштардың қалақтары, магнетрон, соңғы элементтер әдісі.

**М.К. Скаков<sup>1</sup>, Ас.М. Жилкашинова<sup>2\*</sup>, Ал.М. Жилкашинова<sup>2</sup>, И.А. Очередько<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>РГП на ПХВ «Национальный ядерный центр Республики Казахстан», Курчатов, Казахстан;

<sup>2</sup>НАО «Восточно-Казахстанский университет им. С. Аманжолова», Усть-Каменогорск, Казахстан.

E-mail: [asssel2462@mail.ru](mailto:asssel2462@mail.ru)

**РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ МЕТОД ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РЕСУРСА  
КОМПОЗИЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ СО-CR-AL-Y**

**Аннотация.** В статье описан магнетронный способ нанесения многослойного покрытия Со-Сг-Аl-У на стальную подложку. Проведены исследования эрозионной и коррозионной стойкости стальных

образцов и образцов с покрытиями. Методом конечных элементов смоделирована работа турбины под воздействием абразивных частиц. Смоделирована эрозионная нагрузка на лопатки турбины, на основании экспериментальных данных эрозионной и коррозионной стойкости производилась оценка долговечности с учётом зон наиболее интенсивного износа лопаток. Установлено, что лопасти имеют неравномерный износ. Расчёты показали, что ресурс турбин с покрытиями на основе Co-Cr-Al-Y в два раза выше, чем турбины из сплава 12X13.

**Ключевые слова:** покрытие, структурно-фазовое состояние, лопатки газо-турбинных двигателей, магнетрон, метод конечных элементов.

**Introduction.** As is known, modern gas turbine engines operate at temperatures at which hot gases expand in the direction transverse to the rows of turbine blades. The use of thermal barrier coatings on gas turbine blades and surfaces such as shroud segments has been found to have a number of advantages [1-2]. By using thermal barrier coatings, higher operating efficiency can be achieved, since less cooling air is needed to maintain the temperature of the blade or shroud. In addition, the service life of the parts increases, since due to the heat-insulating effect that creates a thermal barrier of the coating, the intensity of the temperature change of the metal decreases [3-5].

Thus, the problem of erosion wear of turbines of compressors in chemical industries, and, consequently, their protection, is of particular relevance. In addition to the high cost of gas turbines, the costs are associated with frequent shutdowns of production for the period of repair and installation work. At the same time, the efficiency of the enterprise as a whole depends on the operation of such units [4-6]. A promising way to increase the resource of turbines is to apply protective coatings resistant to erosion and chemical decomposition to their surface. However, coatings also have a high cost. Turbine blades wear out unevenly during operation, due to which significant savings in coating material can be achieved. Increasing the resource of turbines by constructing an experimental calculation method will allow us to find the optimal combination of the composition of coatings and the gradient of its distribution over the surface of the blade. Solving this technical problem will increase the durability of the turbines and reduce the cost of protective coatings.

In [7-9], the problems of developing a technology for improving the strength and operational properties of coating materials for turbine blades are highlighted. Hardening is achieved by using a pulse mode of formation and directed modifying effect of refractory compounds with submicro- and nanocrystalline structure on the surfacing process, structure, physical, mechanical and operational properties of coatings made of metals and alloys. Of great importance are the development of new methods of influencing surfacing alloys and the integrated use of existing developments. The application of protective coatings can increase the durability of the part without significantly increasing their cost.

The search for new high-temperature coatings is primarily associated with the optimization of the chemical composition of new compositions, with the development and development of new technological processes based on the use of fundamentally new physical effects, as well as with the use of newly created coatings [10-12]. The basic system of heat-resistant coatings is Me-Cr-Al, where Fe, Co, Ni act as Me [20].

Achieving the required level of performance of the rotor blades of engines is due to the creation of not only a heat-resistant alloy, but also with a workable heat-resistant wear-resistant coating. Moreover, it is very important that, along with reliable corrosion protection during the entire service life, the interaction of the coating material with the base would not worsen the strength properties of the blade metal (especially fatigue and thermal fatigue strength) on the one hand, and on the other, that the processes of interaction of the coating with the gas medium and the base were predictable. Such forecasting is the basis for determining the assigned resource of the blades [12-15].

A large number of studies have been devoted to the study of these processes and the issues of forecasting the life of coatings [16-18]. Currently existing experimental and computational methods for determining the life of coatings have a number of disadvantages. Experimental methods are labor-intensive and require a lot of time and resources. The lack of a reliable and economical method for predicting the service life of coatings makes it difficult to determine the permissible service life of engines before major repairs and reduces the reliability of the operation of the blade apparatus.

The purpose of this article is to determine the possibility of increasing the working life of turbines by constructing an experimental-computational method that will allow finding the optimal combination of the composition of the coatings and the gradient of its distribution over the surface of the turbine blade.

**Methods and materials.** The objects of the study were metal samples of 12X13 steel and samples of the same steel with coatings of the Co-Cr-Al-Y system. Coatings were deposited by the magnetron method on the

ion-plasma facility “National Research Tomsk Polytechnic University” [19], which was a vacuum chamber with two magnetron sputtering systems of an unbalanced type and an ion source with a closed electron drift. The vacuum chamber of the installation is a sealed volume with a diameter of 500 mm and a height of 300 mm, equipped with flanges of various diameters for connecting vacuum fittings, vacuum sensors and other necessary devices (Figure 1).

The gas supply and adjustment system is represented by precision Bronkhorst ELFLOW mass flow regulators with an adjustment accuracy of 0.01 ml/min. The temperature control of the samples is carried out by means of a chromel - alumel thermocouple (the measured temperature range is 200-1100°C).

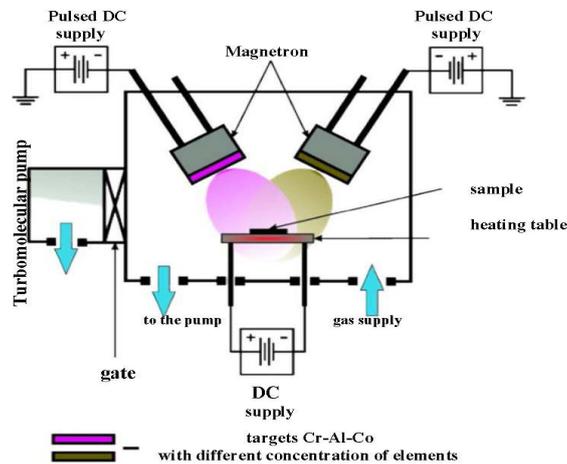


Figure 1 - Coating scheme

The following parameters were selected for spraying multilayer coatings with different concentrations of elements of the Co-Cr-Al-Y series:

- layer 1, the current magnetron Co/Al/Y – 0.5 A, voltage of magnetron Co/Al/Y – 450 V; current magnetron SG – 0.3 A, a voltage of the magnetron Cr – V. 320;
- layer 2, the current magnetron Co/Al/Y – 0.5 A, voltage of magnetron Co/Al/Y – 450 V; current magnetron SG – 0.6 A, the voltage of the magnetron Cr – 380.

The thickness of the layers was regulated by the spraying time. The coatings were deposited on a water-cooled substrate (Ta substrate holder).

The thickness of all synthesized Co-Cr-Al-Y coatings is  $2 \pm 0.2$  microns. To compare the structure, morphology and mechanical properties of multilayer Co-Cr-Al-Y coatings, films of 1, 2, 4 and 8 alternating layers were obtained [22].

The erosion load on the turbine blades was modeled using the finite element method, and durability was evaluated based on experimental data on erosion and corrosion resistance, taking into account the zones of the most intense wear of the blades. The simulation of the predominant wear of turbine blades was carried out by the finite element method. The modeling process is based on the assembly of the stiffness matrix (Dirichlet matrix) and mass. Boundary conditions are imposed on these matrices. Then a system of linear equations is assembled and solved by one of the known methods. The motion and heat exchange of the medium was modeled using the Navier-Stokes equations. To simulate turbulent flows, the Navier-Stokes equations were averaged by Reynolds, the effect of turbulence on the flow parameters on a small time scale, and large-scale time changes were averaged over a small time scale of the components of the gas-dynamic flow parameters were taken into account by introducing the corresponding time derivatives.

The method of studying erosion resistance is based on determining the mass loss of samples when blowing them with a gas-abrasive flow. Erosion tests of abrasive resistance were carried out on samples in the initial and heat-treated states at  $T = 200^\circ\text{C}$  in a 12G-53 jet-ejector type sandblasting unit. Test mode: abrasive material - electrocorundum 14A F 6; nozzle diameter 15.5 mm; air pressure  $p = 11$  MPa; distance from nozzle to sample 310 mm; flow angle  $30^\circ$ . The samples were blown along the side surface of the sample. For studies of erosive wear, the average depth of erosion (E) was used as criteria, equal to the ratio of the decrease in the volume of the material to the area of the eroded surface and the volume of liquid (G/Ser) falling out per unit surface area.

The heat treatment of the coatings took place at the MILA-5000 installation (ULVAC-RICO (Japan), equipped with halogen IR lamps with a total power of 4 kW and a maximum radiation intensity in the range

of 0.8-1.2 microns. The installation allows you to work in the temperature range from room to 1000°C with a maximum rate of temperature increase of 100°C/min. The accuracy of temperature control and exposure time in the reaction chamber is  $\pm 1^\circ\text{C}$  and  $\pm 1$  sec, respectively. The sample is placed in a quartz holder. The intensity of the IR radiation is recorded by measuring the temperature using a chromel-alumel thermocouple placed directly on the sample. At this installation, work was carried out on heating samples at 400°C, 800°C and 1000°C. The heats were carried out in a programmable mode with a preset output speed to the desired temperature, as well as during the transition from one annealing temperature to another. The annealing time at a given temperature or sequentially at several temperatures also took place in a programmable mode. The warm-up mode of the samples took place at a high vacuum  $\sim 1 \cdot 10^{-7}$  mmHg; for 400°C - 10 minutes, heating lasted to the set temperature, holding for 10 hours, cooling was natural heat loss, the chamber was opened for sampling 1 hour after stopping the warm-up, when the temperature was below 100°C; for 800°C and 1000°C: the same, heating for 20 minutes.

Corrosion resistance was determined by the gravimetric method to determine the mass loss of samples during their stay in the tested corrosive environment. The sample sizes were 50×20×2 mm. For the convenience of hanging, a hole was drilled in the samples. Before the tests, the surface of the samples was cleaned from solvent contamination, then sanded and polished, then degreased and etched. The samples prepared in this way were kept in a thermostat at a temperature of  $(100 \pm 2)^\circ\text{C}$  for 1 hour, cooled and weighed on analytical scales with an accuracy of 0.1 mg. The duration of the tests is 6 hours. Area of the samples was calculated with the formula:

$$S = 2 [(a \cdot b - \pi \cdot d^2/4) + h (a + b + \pi \cdot d/2)],$$

where  $a$  is the length of the sample, m;  $b$  – width of the sample, m;  $h$  is the specimen thickness, m;  $d$  – diameter, m.

In gravimetric tests, the corrosion rate is characterized by a mass index of  $K_m$ .

$$K_m = (m_0 - m_1) / (S \cdot \tau), \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}),$$

where  $m_0$  is the mass of the sample before the test, g;  $m_1$  – mass of the sample after the test, g;  $S$  is the initial surface area of the sample,  $\text{m}^2$ ;  $\tau$  is the exposure time, h

Then counted the mass rate of corrosion depth, which characterizes pyroninophilia corrosion  $P$ :

$$N = 8760 K_m / \rho \times 10^{-3} \text{ mm/year},$$

where  $\rho$  is the material density,  $\text{g}/\text{cm}^3$ ; 8760 is the number of hours in a year.

**Results and discussion.** The simulation of the turbine operation was carried out by the finite element method. In the program of finite element analysis, the motion of a gas medium is modeled using the Navier-Stokes equations, which describe in a non-stationary formulation the laws of conservation of mass, momentum and energy of this medium. Calculations were carried out using a standard CFD solver,  $k$ - $\epsilon$  turbulence model.

At the same time, the entered geometric parameters had the following characteristics: the turbine diameter was 600 mm (Figure 2); the geometry of the blade profile had a standard radial turbine profile (Figure 3); the turbine was installed in the guide unit according to Figure 4.

The following turbine operating modes are selected: 1500 RPM, working medium - air, temperature - 400°C, abrasive material - electrocorundum, abrasive consumption 100 g/sec.

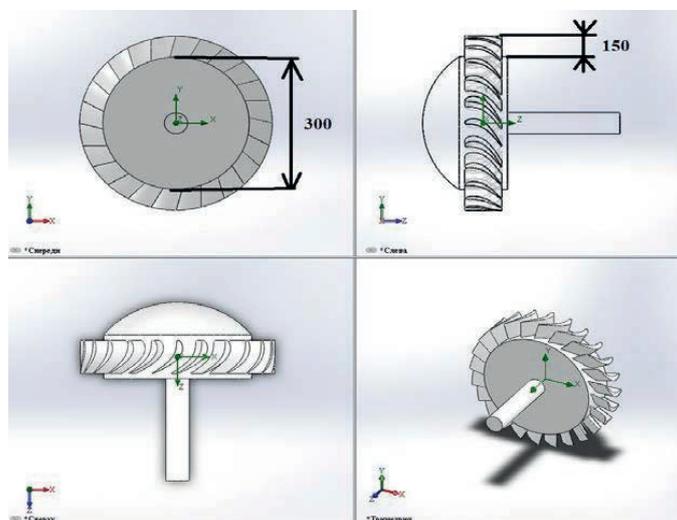


Figure 2 - Geometric parameters of a gas turbine

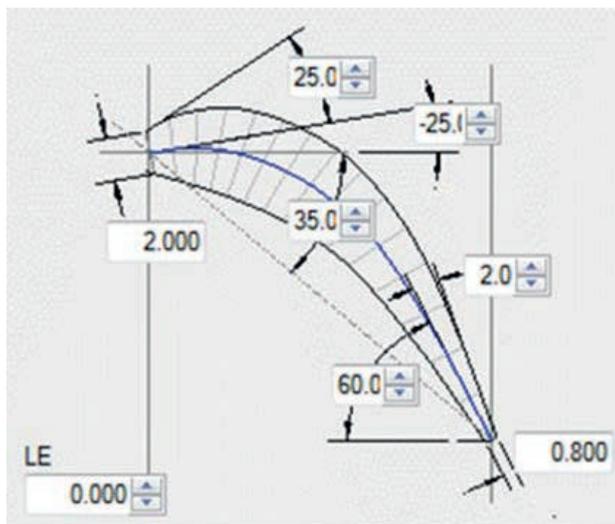


Figure 3 - Blade profile

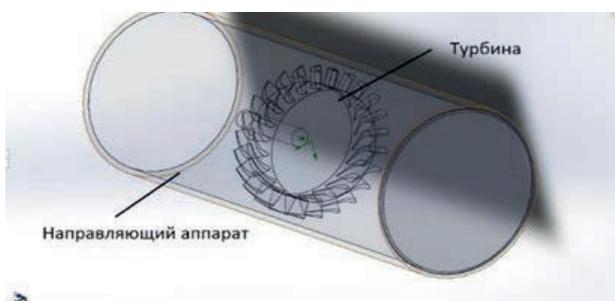


Figure 4 - Operation of the turbine in the guide unit

Experimental results on testing coatings for abrasion resistance allowed us to obtain the following data: in the initial state, a 4-layer coating of Co-Cr-Al-Y on a 12X13 steel matrix has an average value of  $9.8598e-15 \text{ kg} / (\text{s} \cdot \text{m}^2)$ . After temperature treatment of these samples, the abrasive resistance had the following indicators: at  $400^\circ\text{C}$  -  $9.0122e-15 \text{ kg} / (\text{s} \cdot \text{m}^2)$ ; at  $800^\circ\text{C}$  -  $10.5897e-15 \text{ kg} / (\text{s} \cdot \text{m}^2)$ ; at  $1000^\circ\text{C}$  -  $10.9635e-15 \text{ kg} / (\text{s} \cdot \text{m}^2)$ .

Thus, experimental data showed a slight increase in erosion (abrasive) resistance ( $9.0122e-15 \text{ kg} / (\text{s} \cdot \text{m}^2)$ ) after heat treatment at  $400^\circ\text{C}$  compared to the same samples in the initial state. The remaining samples at  $800^\circ\text{C}$  and  $1000^\circ\text{C}$  show a decrease in erosion resistance.

Figure 5 shows the results of forecasting the durability of blades with the values of abrasion resistance of steel 12X13 -  $18.128e-15 \text{ kg} / (\text{s} \cdot \text{m}^2)$  and blades coated with Co-Cr-Al-Y -  $9.0122e-15 \text{ kg} / (\text{s} \cdot \text{m}^2)$ .

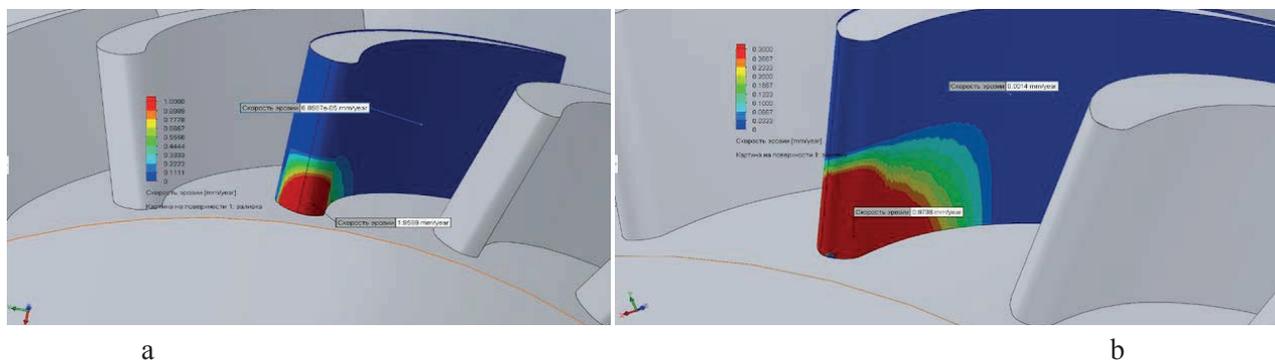


Figure 5 - Prediction of the durability of blades with abrasion resistance values: a) steel 12X13 -  $18.128e-15 \text{ kg} / (\text{s} \cdot \text{m}^2)$  blades coated with Co-Cr-Al-Y -  $9.0122e-15 \text{ kg} / (\text{s} \cdot \text{m}^2)$

In Figure 5, the zones with the maximum level of wear on the periphery of the blade are marked in red, it is established that the blades have uneven wear. The obtained data allows you to adjust the thickness of the coating. Table 1 shows the results of erosion and corrosion resistance, wear rate.

Table 1 - Comparative data of the main indicators of turbine durability based on 12X13 steel and coatings based on Co-Cr-Al-Y

Material	Unit of measurement	Steel 12X13	Steel 12X13 coated with Co-Cr-Al-Y
Erosion (abrasive) resistance	kg/(c*m2)	18.128e-15	9.0122e-15
Wear rate at the point of maximum erosion intensity	mm/year	1,9599	0,9738
Corrosion destruction	g/m3	1,96	1,92

From the comparative table it can be seen that the coated blades show up to two times higher erosion resistance and service life.

**Conclusions.** Multilayer coatings of Co-Cr-Al-Y on a 12X13 steel substrate were obtained by the magnetron method. For comparative analysis, heat treatment of these samples was carried out. Experimental results on tests for abrasion resistance allowed us to obtain the following data: in the initial state, a 4-layer coating of Co-Cr-Al-Y on a 12X13 steel matrix has an average value of  $9.8598e-15$  kg / (s \* m<sup>2</sup>). After temperature treatment of these samples, the abrasive resistance had the following indicators: at 400°C -  $9.0122e - 15$  kg / (s \* m<sup>2</sup>); at 800°C -  $10.5897e - 15$  kg / (s \* m<sup>2</sup>); at 1000°C -  $10.9635e- 15$  kg / (s \* m<sup>2</sup>). A slight increase in erosion (abrasive) resistance was found ( $9.0122e-15$  kg/(s\*m<sup>2</sup>)) after heat treatment at 400 °C compared to the same samples in the initial state. The remaining samples at 800°C and 1000°C show a decrease in erosion resistance.

The operation of the turbine under the influence of abrasive particles is modeled by the finite element method. Based on experimental data of erosion and corrosion resistance, durability was evaluated taking into account the areas of the most intense wear of the blades. It is established that the blades have uneven wear. The intensity of erosion along the plane of the blade surface varies by an order of magnitude. These results make it possible to apply gradient coatings in thickness. At the same time, calculations have shown that the resource of turbines with coatings based on Co-Cr-Al-Y is about twice as high as turbines made of 12X13 alloy.

The process of erosive destruction is also aggravated by corrosion phenomena. The oxide film, which exists almost always on the surface of metals in gaseous media, especially at elevated temperatures, is destroyed by the flow of abrasive particles. At the same time, the metal surface is again subjected to oxidation, conditions for uneven corrosion destruction are created. For corrosive foci, erosive destruction occurs even more intensively, as the relief becomes more rough. The use of coatings based on Co-Cr-Al-Y can largely eliminate this problem.

**Gratitude.** *This research is funded by the Science Committee of the Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan (Grant No. AP08053322).*

#### Information about authors:

**Skakov Mazhin** – Doctor of physical and mathematical sciences, Academician of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan; National Nuclear Center, Kurchatov, Kazakhstan, skakovmk@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6836-1214>;

**Zhilkashinova Assel** – doctoral student 3 years of study; Sarsen Amanzholov East Kazakhstan University, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan, <https://orcid.org/0000-0002-3670-8444>;

**Zhilkashinova Almira** – candidate of physical and mathematical sciences; Sarsen Amanzholov East Kazakhstan University, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan; almira\_1981@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0948-2280>;

**Ocheredko Igor** – Do Research Fellow, NPLIT; Sarsen Amanzholov East Kazakhstan University, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan; egor007kz@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8012-8589>.

#### REFERENCES:

[1] Idelchik B., Lyashenko A. (1984). Corrosion protection of compressor machines. L.: Mechanical engineering, Leningr. Department, 119 (In Rus.).

[2] Betsofen S.Ya., Petrov L.M., Selo Ken Suu, Lutsenko A.N. (2001). Investigation of the structure of protective coatings on nickel heat-resistant alloy // 6th Interd. Conf. "Films and Coatings'2001": Tez. dokl. -SPb., 477-482 (In Rus.).

[3] Haponen N.A., Lisyansky A.S. (2004). Survivability of turbines near and beyond the park resource limit // Occupational safety in industry, No. 7, p.16 (In Rus.).

[4] Gladstein V.I. (2007). Influence of operating time up to 350 thousand hours on service characteristics and structure of cast body parts of steam turbines and fittings // Metallovedenie and heat treatment of metals, No., 21-23 (In Rus.).

- [5] Dashunin N.V., Danilova E.P., Bibikov A.I. (2007). Phase-structural transformations in 12% chromium steel EP428 during long-term operation of the working blades // *Metallovedenie and heat treatment of metals*, No.1, 23-29 (In Rus.).
- [6] Garvin R. (2009). Commercial appearance of GE aircraft engines, AIAA (In Eng.).
- [7] Langer J.S., Lemaitre A. (2005). Dynamic model of super-arrhenius relaxation in glassy materials // *Phys. Rev. Lett.*, 94, 175701 (In Eng.).
- [8] Gleiter H. (2010). Nanocrystalline materials: Basic concepts and microstructure // *Acta Materialia*, 48 (1), 12-17 (In Eng.).
- [9] Vasiliev V.Yu., Maksimovich B.I., Sinitza N.N. (1987). Plasma spraying of gas turbine engine blades (review). // *Welding. Production*, No9, 2-3 (In Rus.).
- [10] Garibov G.S., Vostrikov A.V., Grits N.M., Fedorenko E.A. (2010). Development of new granular heat-resistant nickel alloys for the production of disks and shafts of aircraft engines // *Technology of light alloys*, No.2, 34-43 (In Rus.).
- [11] Pollock T., Tin S. (2006). Nickel-based superalloys for advanced turbine engines: chemistry, microstructure and properties // *Journal of Propulsion and Power*, 22 (2), 361-374 (In Eng.).
- [12] Goldstein M.I., Grachev C.B., Veksler Yu.G. (1985). Special steels. - M.: Metallurgy, 408 (In Rus.).
- [13] Bazyleva O.A., Ospennikova O.G., Arginbaeva E.G., Letnikova E.Yu., Shestakov A.V. (2017). Trends in the development of nickel-based intermetallic alloys // *Aviation Materials and technologies*, No.5, 104-115 (In Rus.).
- [14] Lyakishev N.P. (2003). Diagrams of the state of double metal systems. Vol.3. - M.: Mechanical Engineering, 448 (In Rus.).
- [15] Krukovsky P.G., Tadiya K.A. (2003). Computational and experimental approach to the analysis of the resource and temperature of protective coatings of gas turbine blades// *Industrial Heat Engineering*, vol. 23, No.4, 41-50 (In Rus.).
- [16] Getsov L.B. Krukovsky P.G. (1995). A comprehensive method for calculating high-temperature gas corrosion of parts and assemblies of gas turbines. // *Heavy engineering*, N9, 2-5 (In Rus.).
- [17] Getsov L.B. Rybnikov A.I. Krukovsky P.G. Rabinovich A.A. (1991). The method of calculating the durability of multilayer coatings with an external ceramic layer. // *OXMMN3* (In Rus.).
- [18] Getsov L.B. Rybnikov A.I. Krukovsky P.G. (1992). The method of calculating the corrosion durability of multilayer coatings on the blades of the gas turbine engine. Ensuring corrosion reliability of gas turbine blades. Issue 530. L: Shipbuilding (In Rus.).
- [19] [http://web.tpu.ru/webcenter/portal/nplipept/about?\\_adf.ctrlstate=10cpjrd9i\\_38&leftWidth%3D0%25%26showFooter%3Dfalse%26rightWidth%3D25%25%26showHeader%3Dfalse%26centerWidth%3D75%25](http://web.tpu.ru/webcenter/portal/nplipept/about?_adf.ctrlstate=10cpjrd9i_38&leftWidth%3D0%25%26showFooter%3Dfalse%26rightWidth%3D25%25%26showHeader%3Dfalse%26centerWidth%3D75%25).
- [20] Zhilkashinova A.; Abilev M.; Pavlov A.; Prokhorenkova N.; Skakov M.; Gradoboev A.; Zhilkashinova A. (2021). Ion-Plasma Spraying and Electron-Beam Treatment of Composite Cr-Al-Co-ZrO<sub>2</sub>-Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Coating on the Surface of Ni-Cr Alloy. *Coatings* 2021, 11, 321. <https://doi.org/10.3390/coatings11030321> (In Eng.).

REPORTS OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES  
OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN  
ISSN 2224-5227

Volume 1, Number 341 (2022), 124-129

<https://doi.org/10.32014/2022.2518-1483.141>

ISSN 2224-5227

UDK 521.1

**G.T. Omarova\*, Zh.T. Omarova**

Fesenkov Astrophysical Institute, Almaty, Kazakhstan.

E-mail: [gulnara.omarova@gmail.com](mailto:gulnara.omarova@gmail.com)

**TO THE INVERSE PROBLEM OF COMET DYNAMICS**

**Abstract.** In this work, we develop further consideration of the inverse problem of Celestial Mechanics - the problem of reconstruction of a non-stationary space symmetrical regular planar potential of the gravitating system generating a family of evolving types of orbits.

As an application of the inverse problem to the dynamic evolution of real gravitating systems, we show that this equation can be applied to the determination of non-gravitational forces in comet dynamics in context of observing dependences of osculating elements of comet orbits on time.

We must note, comets are among the most important objects of study in modern celestial mechanics. A significant difference between comets and other celestial bodies, for example, asteroids, is that there are a number of features in their movement that do not have a gravitational nature. In this regard, they are called non-gravitational effects associated with the loss of matter from the surface of a comet, or with the interaction of the nucleus and interstellar matter, as a result of which friction forces arise, or with the accretion of matter by the comet nucleus.

This study of non-gravitational effects provides better understanding of comet dynamics and helping to explain an existing discrepancy between the calculated and observed orbits of comets.

**Key words:** Celestial mechanics – Inverse Problem – Comet Dynamics.

**Г.Т. Омарова\*, Ж.Т. Омарова**

В.Г. Фесенков атындағы Астрофизика институты, Алматы, Қазақстан.

E-mail [gulnara.omarova@gmail.com](mailto:gulnara.omarova@gmail.com)

**КОМЕТАЛАР ДИНАМИКАСЫНЫҢ КЕРІ ЕСЕБІ**

**Аннотация.** Бұл жұмыста біз аспан механикасының кері мәселесін - орбиталардың дамып келе жатқан түрлерінің тобын құратын гравитациялық жүйенің стационарлық емес кеңістіктік-симметриялы тұрақты жазықтық потенциалын қалпына келтіру мәселесін қарастырамыз. Кері есепті нақты гравитациялық жүйелердің динамикалық эволюциясына қолдана отырып, комета динамикасындағы гравитациялық емес күштерді анықтауға, комета орбиталарының тербелмелі элементтерінің уақытқа тәуелділігін бақылау тұрғысынан қолдануға болатындығын көрсетеміз.

Кометалар қазіргі аспан механикасындағы маңызды зерттеу нысандарының бірі екенін атап өткен жөн. Кометалар мен басқа аспан денелерінің, мысалы астероидтардың арасында қозғалысында гравитациялық сипаты жоқ бірқатар маңызды айырмашылықтар бар. Осыған байланысты комета бетінен заттың жоғалуына немесе үйкеліс күштерін тудыратын ядро мен жұлдызаралық материяның өзара әрекеттесуіне немесе комета ядросының заттың аккрециясына байланысты гравитациясыз әсерлер деп атайды.

Бұл гравитациялық емес әсерлерді зерттеу кометалардың динамикасын жақсы түсінуге мүмкіндік береді және есептелген және бақыланатын кометалардың орбиталары арасындағы айырмашылықты түсіндіруге көмектеседі.

**Түйін сөздер:** аспан механикасы – кері есеп – кометалардың динамикасы.

Г.Т. Омарова\*, Ж.Т. Омарова

Астрофизический институт имени В.Г. Фесенкова, Алматы, Казахстан.

E-mail: gulnara.omarova@gmail.com

## К ОБРАТНОЙ ЗАДАЧЕ ДИНАМИКИ КОМЕТ

**Аннотация.** В данной работе авторы развивают дальнейшее рассмотрение обратной задачи небесной механики – задачи восстановления нестационарного пространственного симметричного регулярного планарного потенциала гравитирующей системы, порождающего семейство эволюционирующих типов орбит.

В качестве приложения обратной задачи к динамической эволюции реальных гравитирующих систем мы показываем, что это уравнение может быть применено для определения негравитационных сил в динамике комет в контексте наблюдения зависимостей оскулирующих элементов орбит комет от времени.

Следует отметить, что кометы являются одними из важнейших объектов изучения современной небесной механики. Существенная разница между кометами и другими небесными телами, например, астероидами, состоит в том, что в их движении есть ряд особенностей, не имеющих гравитационной природы. В связи с этим их называют негравитационными эффектами, связанными с потерей вещества с поверхности кометы, либо с взаимодействием ядра и межзвездного вещества, в результате которого возникают силы трения, либо с аккрецией вещества ядром кометы.

Это исследование негравитационных эффектов обеспечивает лучшее понимание динамики комет и помогает объяснить существующее расхождение между рассчитанными и наблюдаемыми орбитами комет.

**Ключевые слова:** небесная механика – обратная задача – динамика комет.

**Introduction.** The inverse problem of dynamics is the finding of potentials and force fields generating given families of orbits. Szebehely's equation [9] is a first order partial differential equation with a given family of orbits  $f(x, y) = u = const$  traced by a unit mass material point, the total energy  $E = E(f)$ , and the unknown potential  $U = U(x, y)$  which produces the family. Earlier [6,7] we studied the problem of the reconstruction of a non-stationary space symmetrical regular planar potential of the gravitating system on a family of evolving types of orbits. We introduced the general form of the evolving orbit which we use when writing out the differential equations for non-stationary potential. In the above-mentioned studies, we made an additional transformation of the basic equation of the problem and demonstrated an appropriate example of the construction of a non-stationary potential of a gravitating system. An application of such an inverse problem to the dynamical evolution of stellar systems with variable masses was given.

**The aim of the research.** In this paper we are considering the inverse problem to the comet dynamics, reconstructing a non-stationary space symmetrical regular planar potential of the gravitating system on a family of evolving types of orbits.

An application of such an inverse problem can be extended to the comet dynamics according to observing dependences of osculating elements of comet orbits on time [1, 7].

Also, we take into account the fact, that three or more appearances short-period comets require consideration of non-gravitational effects [4, 5]. in their motion related to interaction between comet core and interstellar matter, resulting in friction forces, as well as accretion of matter by core or loss of matter from comet surface may occur, and such studies are important due to available discrepancy between estimated and observing orbits of comets [2,8].

**Research method.** The research method is generalized non-stationary inverse problem with additional friction force. In the inverse problem of the reconstruction of a non-stationary potential on a family of evolving type of orbits the following must be noted. Evolution of orbits may be connected not only to the non-stationary potential force field, but to the existence of dissipative factors of friction - like forces. In this case, we can write down the equations of motion with additional friction force and then put the inverse problem of reconstruction the potential force field as part of the force field of the problem.

Here we consider a generalized non-stationary potential with additional friction force, described by equations in the form

$$\ddot{x} = U_x + \alpha\dot{x}, \quad \ddot{y} = U_y + \alpha\dot{y} \tag{1}$$

where  $U = U(x, y, t)$  is a non-stationary potential,  $\alpha = \alpha(t)$  is a magnitude generally depending on time and characterizing the action of additional forces of friction nature.

Let us take a monoparametric family of evolving type of planar orbits

$$f(x, y, t) = u = const, \tag{2}$$

Assuming the motion of a material point of a unit mass on given family of orbits (2), according to equations (1), consider the problem of reconstruction of non-stationary potential  $U = U(x, y, t)$ , generating the given monoparametric family  $f(x, y, t) = u$  of evolving in time planar orbits.

The system (1) possesses the integral of the form

$$m(x\dot{y} - y\dot{x}) \equiv C(t) \tag{3}$$

where the following notation is used:

$$m = \exp\left\{-\int_{t_0}^t \alpha dt\right\} \tag{4}$$

where  $t_0$  - is some initial epoch.

With the help of the non-stationary inverse problem method [7] we derive the following equation:

$$\begin{aligned} f_x U_x + f_y U_y + C^2 \frac{f_{xx} f_y^2 - 2f_{xy} f_x f_y + f_{yy} f_x^2}{(xf_x + yf_y)^2} - 2C \frac{f_y f_{xt} - f_x f_{yt}}{xf_x + yf_y} + \\ + 2Cf_t \frac{x(f_y f_{xx} - f_x f_{xy}) + y(f_y f_{xy} - f_x f_{yy})}{(xf_x + yf_y)^2} + f_t^2 \frac{(x^2 f_{xx} + 2xy f_{xy} + y^2 f_{yy})}{(xf_x + yf_y)^2} - \\ - 2f_t \frac{xf_{xt} + yf_{yt}}{xf_x + yf_y} + f_{tt} - \alpha f_t = 0 \end{aligned} \tag{5}$$

where in addition to notation (4) we introduce the another one

$$C = C(t) = m^{-1} Const \tag{6}$$

Equation (5) is the first order partial differential equation with respect to the non-stationary potential  $U = U(x, y, t)$  and containing other non-stationary factors, that can play essential role in dynamic evolution of real gravitating systems through the magnitude  $\alpha(t)$ . This equation stands for the generalized non-stationary analogue of Szebehely equation.

The solution of the Eq. (5) is equivalent to solution of the system of ordinary differential equations

$$\frac{dx}{f_x} = \frac{dy}{f_y} = -\frac{dU}{W} \tag{7}$$

where the following notation is introduced

$$\begin{aligned} W = C^2 \frac{f_{xx} f_y^2 - 2f_{xy} f_x f_y + f_{yy} f_x^2}{(xf_x + yf_y)^2} - 2C \frac{f_y f_{xt} - f_x f_{yt}}{xf_x + yf_y} + \\ + 2Cf_t \frac{x(f_y f_{xx} - f_x f_{xy}) + y(f_y f_{xy} - f_x f_{yy})}{(xf_x + yf_y)^2} + f_t^2 \frac{(x^2 f_{xx} + 2xy f_{xy} + y^2 f_{yy})}{(xf_x + yf_y)^2} - \\ - 2f_t \frac{xf_{xt} + yf_{yt}}{xf_x + yf_y} + f_{tt} - \alpha f_t \end{aligned} \tag{8}$$

In the most general case, the solution of Eq. (10) is an arbitrary function of the independent integrals of the Eq. (11).

Let us now assume that we study a motion, performed by the system of equations of the form

$$\begin{aligned} \ddot{x} &= F(x, y, t) + \alpha(t)\dot{x} \\ \ddot{y} &= F(x, y, t) + \alpha(t)\dot{y}, \end{aligned} \tag{9}$$

where  $r^2 = x^2 + y^2$  and  $\alpha(t)$  - is the given function of time.

Let  $U(x, y, t)$  is the potential of the central force  $F$ :

$$F \frac{x}{r} = -\frac{\partial U}{\partial x}, \quad F \frac{y}{r} = -\frac{\partial U}{\partial y}. \tag{10}$$

The system of Eq.(1) has the integral

$$(x\dot{y} - y\dot{x}) = (x_0\dot{y}_0 - y_0\dot{x}_0) \exp\left\{ \int_{t_0}^t \alpha dt \right\} \equiv C(t), \tag{11}$$

where  $t_0$  - is some initial epoch.

In polar coordinates  $r$  and  $\varphi$  Eq. (5) takes the form:

$$\begin{aligned} f_r U_r + \frac{f_\varphi}{r^2} U_\varphi + \frac{C^2}{r^5 f_r^2} (r f_{rr} f_\varphi^2 + r f_r^2 f_{\varphi\varphi} - 2r f_r f_\varphi f_{r\varphi} + r^2 f_r^3 + 2f_r f_\varphi^2) - \\ - \frac{2C}{r^2 f_r} (f_r f_{\varphi t} - f_\varphi f_{rt}) + \frac{2C f_t}{r^3 f_r^2} (f_r f_\varphi - r f_r f_{r\varphi} + r f_{rr} f_\varphi) + \frac{f_t^2 f_{rr}}{f_r^2} - \frac{2f_r f_{rt}}{f_t} + f_{tt} - \alpha f_t = 0 \end{aligned} \tag{12}$$

**Research results and discussion.** The astrometric observations available up to this point did not provide meaningful constraints on the cometary non-gravitational perturbations, which lead to different orbit solutions [5].

Assuming that the potential  $U = U(x, y, t)$  is spherically symmetrical and contains a stationary Newtonian term that is inversely proportional to  $r$ , we can write it in the form

$$U = \frac{\mu}{r} + \Phi(r, t), \tag{13}$$

where  $\mu$  is positive constant,  $\Phi(r, t)$  is a non-stationary term of the potential.

The general form of the evolving comet orbit which we use when writing out the differential equations for non-stationary potential may also be interpreted as an osculating orbit of the perturbed Keplerian motion.

In this case, solution of the Eq. (1) we can describe with the help of the perturbed Keplerian motion on osculating orbit with radius defined by the conic equation

$$r = \frac{p}{1 + e \cos(\varphi - \omega)}, \tag{14}$$

where equation for semi-latus rectum  $p$  [2]

$$\frac{dp}{dt} = 2\alpha(t)p. \tag{15}$$

Then, the family of evolving comet orbits (2) we can write in the form [8]:

$$\exp\left\{ -2 \int_{t_0}^t \alpha(t) dt \right\} [1 + e \cos(\varphi - \omega)] r = p_0, \tag{16}$$

where the osculating elements  $e$  and  $\omega$  are considered as known functions of time.

On the ground of Eq. (16), considering with (17) and (20), we obtain the following extended form of the non-stationary potential:

$$U(r, t) = \frac{\mu}{r} - \frac{C^2}{p_0 r} e^{-2 \int_0^t \alpha(t) dt} + 2 \ln r - (3\alpha^2(t) - \dot{\alpha}(t)) r^2 + \Omega(t), \quad (17)$$

or, with accuracy up to the arbitrary explicit function of time we have

$$U(r, t) = \frac{\mu}{r} - \frac{C^2}{p_0 r} e^{-2 \int_0^t \alpha(t) dt} + 2 \ln r - (3\alpha^2(t) - \dot{\alpha}(t)) r^2. \quad (18)$$

In other words, as a result, we get the non-stationary potential (22), generating a given family of quasiconic orbits (20). It determines in the system of Eq. (13) the central force of the form

$$F(r, t) = -\frac{\mu}{r^3} \vec{r} + \frac{C^2}{p_0 r^3} e^{-2 \int_0^t \alpha(t) dt} \vec{r} + \frac{2}{r^2} \vec{r} - 2(3\alpha^2(t) - \dot{\alpha}(t)) \vec{r}. \quad (19)$$

As we see, the above considered inverse problem acquires a common dynamical interest, particularly, for comet dynamics problems, when it is required to determine analytical forms of non-gravitational forces in equations of motion on observable dependences of osculating elements of comet orbits on time.

**Conclusions.** We have considered the inverse problem of the reconstruction of a non-stationary space symmetrical regular planar potential of the gravitating system generating a family of evolving types of orbits. We showed that this problem can be applied to the determination of non-gravitational forces in comet dynamics according to observing dependences of osculating elements of comet orbits on time [1, 8].

**Acknowledgement.** This research is supported by the Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan (project No. № AP09259383 «Elliptic galaxies: structure, dynamics and sources of gravitational waves»). This research has been funded too by the Aerospace Committee of the Ministry of Digital Development, Innovations and Aerospace Industry of the Republic of Kazakhstan (Grant No. BR 11265408).

#### Information about the authors:

**Omarova G.T.** – PhD in Physics and Mathematics, Senior Scientific Researcher, Fesenkov Astrophysical Institute, Almaty, Kazakhstan, <http://orcid.org/0000-0003-4782-8545>, [Gulnara.omarova@gmail.com](mailto:Gulnara.omarova@gmail.com);

**Omarova Zh.T.** – Engineer, DAAD Fellowship in Max Plank Institute (Heidelberg, 2005), Fesenkov Astrophysical Institute, Almaty, Kazakhstan, <https://orcid.org/0000-0002-4825-0178>, [juldisomarova@gmail.com](mailto:juldisomarova@gmail.com).

#### ЛИТЕРАТУРА

[1] Делсем А. Теория испарения и негравитационные силы в кометах // Происхождение Солнечной системы. 1976. Москва. Мир. С. 443-454.

[2] Дубошин Г.Н // Небесная механика. Основные задачи и методы. 1963 Москва. Гос.изд. физ.-мат. лит. 586 с.

[3] Кравченко Д.В. О влиянии негравитационных сил на динамику планет // Вестник астрономической школы. 2011. Том 7. № 1. С.99-103.

[4] Marsden B.G., Sekanina Z., Yeomans D. Comets and non-gravitational forces // Astronomical Journal. 1973. V.78. P.211-229.

[5] Moretto M., McMahon J. Evolution of orbits about comets with arbitrary coma // Celest. Mech. 2020. Vol.132.

[6] Omarov T.B., Omarova G.T. The inverse problem of dynamics for systems with non-stationary Lagrangian // Celest. Mech. 1998. Vol.69. N.4. P.347-355.

[7] Omarova G.T., Omarov T.B. Reconstruction of a non-stationary potential of gravitating systems on given evolving orbits // Celest. Mech. 2003. Vol.85. P. 25-35.

- [8] Полякова Е.Н. Аналитическое моделирование негравитационных эффектов в уравнениях движения комет // Изв. Санкт-Петербургского ун-та. 1992. Серия 1. Вып.1 С.80-96.
- [9] Szebehely V. On the determination of the potential by satellite observations // Rend. Fac. Sci. Univ. Cagliari. 1974. Vol.44. Suppl.31.
- [10] Ye Q., Kelly M. et al. Pre-discovery activity of new interstellar comet 21/Borisov beyond 5 au. // *Astronomical Journal* 2020. Vol.159. N.2.

#### REFERENCES

- [1] Delcem A. Evaporation theory and non-gravitational forces in comets // *Origin of Solar System*. 1976. Moscow, Mir. P. 443-454.
- [2] Duboshin G.N. // *Celestial Mechanics. Basic problems and methods*. Moscow. Gos.Izd. Phys.-Math. Liter. 1963. 586 p.
- [3] Kravchenko D.V. On the influence of non-gravitational forces on the dynamics of comets // *Astronomical School's Report*. 2011. Vol.7.N.1.P.99-103.
- [4] Marsden B.G., Sekanina Z., Yeomans D. Comets and non-gravitational forces // *Astronomical Journal*. 1973. V.78.P.211-229.
- [5] Moretto M., McMahon J. Evolution of orbits about comets with arbitrary coma // *Celest. Mech.* 2020. Vol.132.
- [6] Omarov T.B., Omarova G.T. The inverse problem of dynamics for systems with non-stationary Lagrangian // *Celest. Mech.* 1998.Vol.69. N.4. P.347-355.
- [7] Omarova G.T., Omarov T.B. Reconstruction of a non-stationary potential of gravitating systems on given evolving orbits // *Celest. Mech.* 2003. Vol.85. P. 25-35.
- [8] Polyakova E.N. Analytical modelling of non-gravitational effects in equations of motion of comets // *Izv. Sankt-Oetersburg Univ.* 1992. Series 1. Vyp.1 P.80-96.
- [9] Szebehely V. On the determination of the potential by satellite observations // *Rend. Fac. Sci. Univ. Cagliari*. 1974. Vol.44. Suppl.31.
- [10] Ye Q., Kelly M. et al. Pre-discovery activity of new interstellar comet 21/Borisov beyond 5 au. // *Astronomical Journal* 2020. Vol.159. N.2.

UDC: 524.3 - 85; 524.5

IRSTI: 41.23.21; 41.25.29

**L.I. Shestakova<sup>1\*</sup>, A.V. Serebryanskiy<sup>1</sup>, A.I. Kenzhebekova<sup>2</sup>**<sup>1</sup>Fesenkov Astrophysical Institute, Almaty, Kazakhstan;<sup>2</sup>Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan.

E-mail: shest1952@mail.ru

**DYNAMICS OF DUST GRAIN IN THE SUBLIMATION ZONE OF COLD WHITE DWARFS**

**Abstract.** The dynamics of evaporating silicate and graphite dust grains moving in circular and parabolic orbits near the cold white dwarf WD J1644-0449 with  $T_{\text{eff}} \approx 3830\text{K}$  is calculated. The rate of sublimation is given by the heating temperature of dust grains depending on the distance to the star, the material parameters, and the radius of dust grains considered in the range from 0.01 to 100  $\mu\text{m}$ . It also took into account the influence of radiation pressure and the Poynting-Robertson's drag on dust dynamics. According to our calculations, all considered sizes of silicate dust grains, leaving the parent bodies on circular orbits completely evaporate at a distance of about 3 stellar radii from the star. The boundary of the dust-free zone (graphite grains) is located twice closer to the star, i.e. at a distance of about 1.5 stellar radii and it is confidently expressed only for larger grains with radius  $s > 0.5 \mu\text{m}$ . Our calculations have shown that both silicate and carbonaceous grains can fall on a cold white dwarf directly without reaching complete evaporation if the parent bodies and dust particles move in elongated orbits close to parabolic. The enrichment of the stellar surface with heavy elements can occur without the observed presence of dust in the stellar's vicinity.

**Key words:** white dwarf, debris disk, sublimation (evaporation), dynamics of dust grains.

**Л.И. Шестакова<sup>1\*</sup>, А.В. Серебрянский<sup>1</sup>, А.И. Кенжебекова<sup>2</sup>**<sup>1</sup>В.Г. Фесенков атындағы астрофизикалық институт, Алматы, Қазақстан;<sup>2</sup>Әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университеті, Алматы, Қазақстан.

E-mail: shest1952@mail.ru

**СУЫҚ АҚ ЕРГЕЖЕЙЛІ ЖҰЛДЫЗДАРДЫҢ СУБЛИМАЦИЯ АЙМАҒЫНДАҒЫ ТОЗАҢДЫ  
БӨЛШЕКТЕРІНІҢ ДИНАМИКАСЫ**

**Аннотация.** Эффективті температурасы  $T_{\text{eff}} \approx 3830\text{K}$  болатын WD J1644–0449 суық ақ ергежейлі жұлдыздың маңайындағы буланатын силикат және графит тозаңды бөлшектерінің дөңгелек және параболалық орбиталары бойынша динамикасы есептелді. Сублимация қарқыны тозаңды бөлшектердің жұлдыздан ара қашықтығына тәуелді, материал типіне және 0.01 мкм мен 100 мкм аралығындағы тозаңды бөлшектің өлшеміне тәуелді болатын олардың қызу температурасы арқылы беріледі. Тоzaңның динамикасына сәуле шығару қысымының және Пойнтинг-Роберт эффектiсiнiң әсерi ескерiлдi. Бiздiң есептеулерiмiз бойынша ғарыштық дененi дөңгелек орбитамен тастап шығатын барлық қарастырылған өлшемдегi силикаттық тозаңды бөлшектер жұлдыздан үш жұлдыздық радиуста толық буланады. Графит тозаңды бөлшектерiнiң тозаңсыз шекара аймағы жұлдызға екi есе, яғни шамамен 1.5 жұлдыз радиусы қашықтығында орналасады және радиусы  $s > 0.5 \mu\text{m}$  болатын үлкен бөлшектер үшiн анық байқалады. Бiздiң есептеулерiмiз егер ғарыштық денелер және тозаңды бөлшектер параболалық орбитаға ұқсас орбитамен қозғалатын силикат және графит тозаңды бөлшектерiнiң толық ерiмей, суық ақ ергежейлiнiң бетiне тiкелей түсуi мүмкiн екендiгiн көрсетедi. Жұлдыз бетiнiң ауыр элементтермен толықтырылуы жұлдыздың маңындағы тозаңды бөлшектердiң байқалмайтын көрiнiстерiнсiз жүруi мүмкiн.

**Түйін сөздер:** ақ ергежейлі жұлдыздар, тозаңды диск, сублимация (булану), тозаңды бөлшектер динамикасы.

Л.И. Шестакова<sup>1\*</sup>, А.В. Серебрянский<sup>1</sup>, А.И. Кенжебекова<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Астрофизический институт им. В.Г. Фесенкова, Алматы, Казахстан;

<sup>2</sup>Казахский Национальный Университет имени аль-Фараби, Казахстан.

E-mail: shest1952@mail.ru

## ДИНАМИКА ПЫЛЕВЫХ ЧАСТИЦ В ЗОНЕ СУБЛИМАЦИИ ХОЛОДНЫХ БЕЛЫХ КАРЛИКОВ

**Аннотация.** Проведены расчеты динамики испаряющихся силикатных и графитовых пылевых частиц около холодного белого карлика WD J1644–0449 с  $T_{\text{eff}} \approx 3830\text{K}$  при движении по круговым и параболическим орбитам. Темп сублимации задается температурой нагрева пылевых частиц в зависимости от расстояния до звезды, параметров материала и радиусов пылинок, заданных в пределах от 0.01 до 100 мкм. Учитывалось влияние давления радиации и эффекта торможения Пойнтинга-Робертсона на динамику пыли. Согласно нашим расчётам, силикатная пыль всех рассмотренных размеров, покидающая родительские тела с круговых орбит, полностью испаряется на расстоянии около 3 звёздных радиусов от звезды. Граница беспылевой зоны графитовых частиц находится вдвое ближе к звезде, то есть на расстоянии около 1.5 радиусов звезды и уверенно выражена только для более крупных частиц радиусами  $s > 0.5$  мкм. Наши расчёты показали, что пыль как силикатной, так и карбоновой природы может попадать на холодный белый карлик непосредственно, не достигнув полного испарения, если родительские тела и частицы пыли движутся по вытянутым орбитам, близким к параболическим. Обогащение поверхности звезды тяжёлыми элементами может происходить без наблюдаемых проявлений присутствия пыли в окрестности звезды.

**Ключевые слова:** белый карлик, диск осколков, сублимация (испарение), динамика пылевых частиц.

**Introduction.** About 90% of the discovered exoplanets are detected around the stars that eventually will finish their evolution as a white dwarf (WD) including our Sun. Veras [19] considered the evolution of the Galactic stars and showed that the evolution's final stage of most stars with masses from 0.07 to 5-12 Solar masses is WD. The range of this masses composed 95% to 97% of all stars in the Galaxy. Stars of these masses, after passing the red giant stage, lose most of their mass. However, when studying the chemical composition of WD atmospheres, it turned out that about 25% - 50% of WD reveal the presence of metal line in their spectra [20], which corresponds to estimates of planetary systems for Main-sequence stars in the Galaxy [4]. This fact and also the results of infrared (IR) observations show an excess of IR radiation and the presence of silicate spectrallines. This is interpreted by most researchers as an indicator of dust active accretion from asteroids or comets [12].

The analysis of the catalog of 73221 white dwarfs, located in the region of the nearest 100 ps, selected from the data of the recently published catalog Gaia-DR2 [8] shows that the population of white dwarfs dominated by cold objects with  $T_{\text{eff}} < 8000\text{K}$ .

Despite the fact that the luminosity of the WD is constantly decreasing, Fossati et al. [6] argue that during the cooling of the WD from a temperature of 6000 K to 4000 K, hypothetically, a terrestrial planet at a distance of about 0.01 AU from the WD may exist in the habitable zone for about 8 billion years, which is quite enough for the possibility of the emergence of complex life forms on it [19,11]. Perets [11] mentions that second-generation planets can form in habitability zones that were available for first-generation stars.

Unfortunately, there are very few direct observations of planets or asteroid-comet matter near white dwarfs using the transit technique. One such object is WD1145+017, discovered by the Kepler (K2) mission [18]. It shows transit passing with a depth of up to 20% and a period of 4.5 hours. This, presumably, debris disk near WD1145+017 is located near the sublimation zone, where the process of active dust evaporation undergoes. Vanderbosch et al. [17] reported the discovery, as part of research under the Zwicky Transient Facility program, yet another WD with transit outside the Roche zone with the period of 107.2 days, which is much longer than the orbital periods in WD1145+017.

In the last decade, significant progress has happened in the study of exoplanet systems thanks to projects such as CoRoT, Kepler, GAIA, and TESS. Many planets have been discovered around both Main-sequence stars (MS) and around some evolved stars. In particular, the catalog of Gaia Data Release 2 (DR2) [8] contains several thousand WD candidates.

Hollands et al. [7] reported 524 WD showing spectral lines of heavy elements in their spectra by analyzing objects within 40 pc observed by the GAIA mission. The four coldest WDs with  $T_{\text{eff}} < 5000$  K have lithium absorption lines. This element disappears in the early stages of stellar evolution as a result of thermonuclear burning. The presence of lithium in the WD atmosphere is clear evidence of the accretion of asteroid-cometary matter [9].

Our study aims to simulate the orbital evolution of dust grains constituent of the outer dust cloud and the subsequent accretion of this matter onto the stellar surface, resulting in enrichment of the stellar atmosphere by heavy elements - metals.

To achieve this goal, we chose a cold WD with clues of the presence of an external material: Gaia DR2 4353607450860305024 (WD J164417.01–044947.7, hereinafter WD J1644–0449) with a temperature of  $T_{\text{eff}} = 3830$ K.

There is not much information about the WD J1644–0449 yet. Kaiser et al. (2020) [9] provide some data on this dwarf, reporting the detection of Li, Na, K, and Ca in its atmosphere. The authors explain the presence of metals by accretion of the planetesimal. Using model atmospheres, the authors determined the abundance of these elements, and, except for Li, their estimates are consistent with meteorite abundance in the Solar System.

In this paper, we use data and methods developed when studying the dust component in the sublimation region of the Solar System and WD1145+017 [13-15].

**Materials and methods.** The dynamics of dust grains taking into account evaporation is a class of problems related to the dynamics of bodies with variable mass. The ratio of forces acting on the particle is constantly changing. During the calculation, the sublimation rate is determined depending on the temperature of the grains. The temperature of the grains depends on their size, the constituent material, and the distance to the star. Two types of materials that are present in the interstellar medium are selected: silicate and graphite. Of the silicate materials, we chose basalt as the most satisfying to results of observation of the sublimation region near the Sun [13, 14]. The justification for the choice of this material is given in Shestakova et al. [15].

It is assumed that the dust grains are spherical, have a homogeneous composition and isothermal, sublimate isotropically, and there is no reactive force acting on them. In addition, we ignore the gravitational influence by other small bodies, collisions between grains and consider the grains to be electrically neutral. Calculations were performed for the grains sizes (s) from 0.01  $\mu\text{m}$  to 100  $\mu\text{m}$ .

The parameters characterizing the interaction of stellar radiation with grains are calculated using the Mie theory [2]. When calculating using Mie theory, we utilize the effective factors of absorption ( $Q_{\text{abs}}$ ) and radiative pressure ( $Q_{\text{pre}}$ ). We assume Planck energy distribution in the spectrum of the star. For the values of complex refractive index:  $m(\lambda) = n(\lambda) + ik(\lambda)$  for basalt and graphite, we use the results of the laboratory experiments according to [10,5]. We used tables of complex refractive index for the wavelength range from  $\lambda_1 = 0.0075$   $\mu\text{m}$  to  $\lambda_2 = 50$   $\mu\text{m}$  in increments of 0.001  $\mu\text{m}$ , with the addition of extrapolated values for the UV range.

The parameters of basalt and graphite, as well as the constant parameters for calculating the sublimation of grains, are given in Table 1. To study the orbital evolution of dust grains, we selected the cold dwarf WD J1644-0449. According to [9], the temperature is  $T_{\text{eff}} = 3830$ K,  $M_{\text{star}} = 0.45 M_{\text{sun}}$ , and  $R_{\text{star}} = 0.013 R_{\text{sun}}$ . This star shows the presence of spectral lines of lithium and other alkali metals in its spectrum, which is indicators of accretion of the surrounding material onto the stellar surface.

**Algorithm for calculating orbital evolution.** Taking into account the main forces acting on the dust particle with mass  $m$ , we can write the equation of motion in the following form:

$$m\vec{\ddot{r}} = -F_g \vec{e}_r + F_r \left[ \left(1 - \frac{\dot{r}}{c}\right) \vec{e}_r - \frac{\vec{v}_r}{c} \right] + F_w \frac{\vec{v}_w - \vec{v}_k}{|\vec{v}_w - \vec{v}_k|}, \quad (1)$$

where  $F_g$  is the gravitational force,  $F_r$  is the radiation pressure,  $F_w$  is the stellar wind pressure;  $c$ ,  $\vec{v}_k$ ,  $\vec{v}_w$  is the speed of light, the speed of the dust orbital motion, and the stellar wind speed, respectively. The second term in equation (1) is the same as in [3], the third term is taken from [1].

To consider the motion of dust grains near white dwarfs, we neglect the influence of the stellar wind. For numerical calculations, it is convenient to decompose equation (1) into two coordinates corresponding to the radial and tangential direction of motion. For numerical calculations of the orbital evolution of the grains, we use a system of three differential equations,

where the third one is equation, defining the particle's evaporation rate  $ds/dt$ :

$$\begin{aligned} \frac{d^2 r}{dt^2} &= r \left( \frac{d\varphi}{dt} \right)^2 - \frac{\mu_s}{r^2} (1 - \beta) \\ \frac{d^2 \varphi}{dt^2} &= -\frac{1}{r^2} \left[ 2r \frac{dr}{dt} \frac{d\varphi}{dt} + \alpha \frac{d\varphi}{dt} \left( 1 + \frac{R_{star}^2}{2r^2} \right) \right], \\ \frac{ds}{dt} &= \frac{0.0408}{\delta} P \sqrt{\frac{\mu}{T_d}}, \text{ cm/сек.} \end{aligned} \quad (2)$$

To calculate the saturated vapor pressure  $P$ , on which  $ds/dt$  depends, we use the relation  $\lg(P) = C_2 - C_3/T_d$ , with the coefficients  $C_2$  and  $C_3$  from Table 1, where  $P$  is given in Torr. We have adopted the following notations:  $r$  – distance to the star;  $\varphi$  – polar angle (the angle of rotation of the vector  $\vec{r}$ );  $R_{star}$  is the radius of the star;  $\alpha = \beta \mu_s / c$ ;  $\beta = F_r / F_g$ ;  $\mu_s = GM_{star}$  – gravitational parameter of the stars,  $G$  – gravitational constant,  $M_{star}$  is the mass of the star,  $c$  is the speed of light,  $\mu_s$  and  $T_d$  – molecular weight of the dust particle material and its temperature.

The set of equations (2) are equivalent to a system of five first-order differential equations for the required parameters as functions of time: The initial conditions provided by a separate file containing data from Table 1:  $\delta$ ,  $\mu$ ,  $H_L$ ,  $T_0$ , and many other data, including material type, star mass and radius, initial grain's sizes, initial distance, radial, and tangential velocity, and other parameters.

Table 1 - Properties of dust materials used in calculations

Material	$\delta$ g/cm <sup>3</sup>	$\mu$	H erg/g	$P_m$ dyn/cm <sup>2</sup>	$T_0$ K	$H_L, 10^{-20}$ J/mol	$S_2$ ( $T_0, H_L$ )	$C_3(H_L)$
basalt	2.7	67.0	7.12e10	1.07e14	2284	79.2	10.915	24928.3
graphite	1.95	12.0	7.27e11	4.31e16	3373	144.9	13.5129	45579.12

The calculations are carried out for particles that break off from their parent bodies with a circular or parabolic orbital velocity and then move independently.

For calculations based on the basic system of equations (2), the values of the light pressure  $\beta$  and the temperature of the particles  $T_d$  play an important role. Since the grains are small, the interaction of electromagnetic waves with small particles with a characteristic scale comparable to the wavelength is described by the Mie theory. All calculations were carried out according to computer code compiled according to [2].

The results of calculations based on the theory of Mie depend only on the properties of the material and particle sizes and do not depend on the parameters of the star. Effective absorption factors  $Q_{abs}$  are used to calculate the thermal balance of particles, and factors  $Q_{pre}$  are used to calculate the light pressure. The  $Q_{abs}$  factors for basalt and graphite are given in the form as shown in figures in the previous work [16].

The dust particle temperatures obtained from heat balance calculations are accompanied for comparison by similar calculations for an absolutely black body, which is easily obtained from expression  $E_{abs} = E_{rad} + E_{evap}$ , assuming:  $E_{evap} = 0$  and  $\langle Q_{abs} \rangle = \langle Q_{rad} \rangle = 1$ . Then a simple relation for the blackbody temperature of the dust is obtained:  $T_d = T_{star} (R_{star}/2r)^{1/2}$ .

Fig.1 shows the temperature distribution of basalt particles with distance from the star. As can be seen from Fig. 1, that the temperatures of grains with radius less than 100 microns are lower than blackbody temperatures at all distances from  $1R_{star}$  to  $200R_{star}$ ; the temperature of particle decreases only within the zone  $< 2R_{star}$ .

Similar calculations performed for graphite particles showed slightly different results. Unlike the basalt particles, temperatures of submicron graphite particles (Figure 2) are higher than the blackbody temperatures for all distances from the star, even in the immediate vicinity at a distance of  $1R_{star}$ . The temperature of micron size and larger graphite particles (Figure 2) is similar to the blackbody temperature, except for the innermost zone, located closer than  $1.5R_{star}$ .

The ratio of the radiation pressure force to the gravitational force  $\beta = F_r / F_g$  does not depend on the distance to the star and can be computed as follow:

$$Q_{pr}(s, m) = \frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} Q_{pre}(\lambda, s, m) B_{star}(\lambda) d\lambda}{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} B_{star}(\lambda) d\lambda}, \quad \beta(s, m) = \frac{F_r}{F_g} = \frac{3Q_{pr}(s, m) R_{star}^2 \sigma T_{star}^4}{4c\mu_s \delta s}, \quad (3)$$

where  $Q_{pre}(\lambda, s, m)$  is the effective spectral factor of radiation pressure, calculated using the Mie theory.

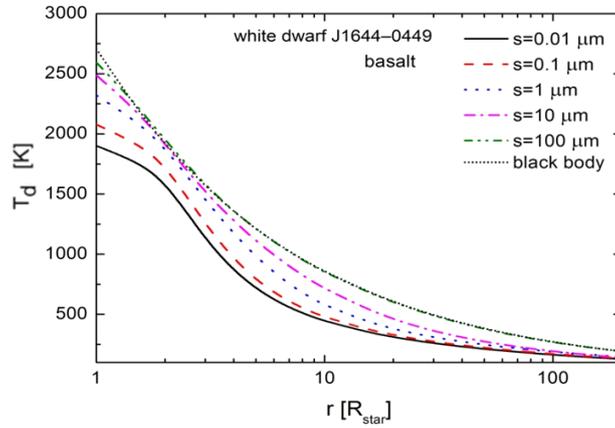


Figure 1. Temperature of basalt particles of different radii as a function of the distance to the star, given in star radius with  $T_{eff} = 3830K$ .

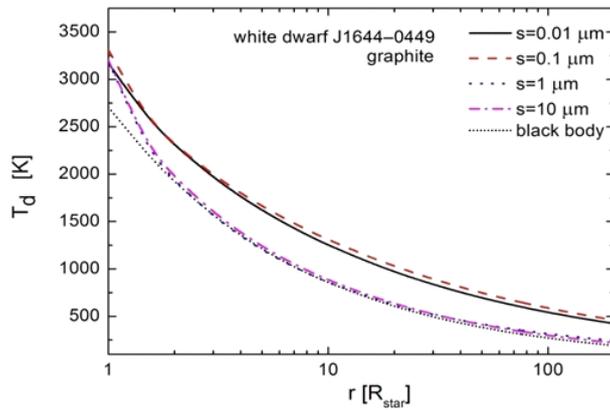


Figure 2. Temperature of graphite particles with different radii depending on the distance to a star with  $T_{eff} = 3830K$ .

Figure 3 shows that graphite grains are more susceptible to radiation pressure, and the maximum of its influence falls on grains of submicron sizes.

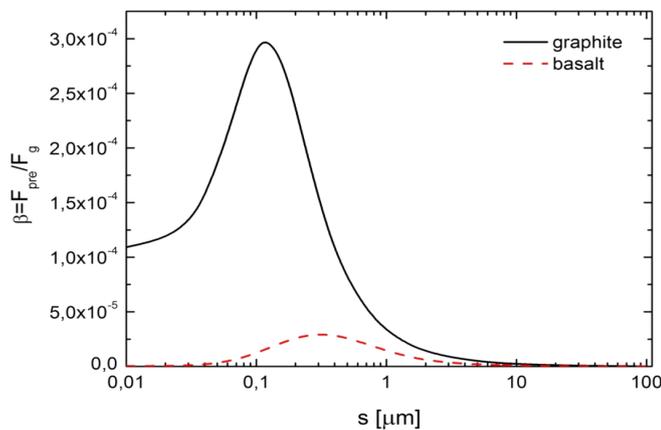


Figure 3. The ratio of radiation pressure to the gravity force depending on the radius of basalt and graphite grains.

**Results and discussion.** Calculations of the orbital evolution of dust grains in the sublimation region of the white dwarf WD J1644–0449, where the particles are subject to active evaporation, were carried out using the algorithm presented above. There is not much information about this cold ( $T_{\text{eff}} \approx 3830\text{K}$ ) white dwarf yet. The presence of dust has not been detected yet, but alkali metals, including lithium, have been reported by Kaiser et al. (2020) [9].

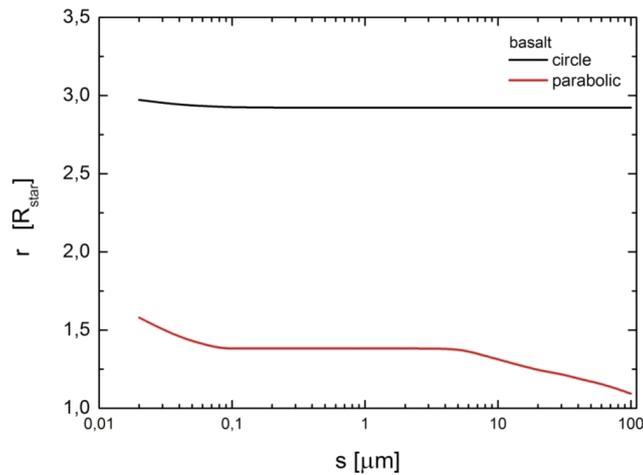


Figure 4. Distances from the star to the inner boundaries of the sublimation region of basalt grains freely moving along circular and parabolic orbits (red line – parabolic, black line - circular).

Figures 4 and 5 shows the results of orbital evolution calculations for basalt and graphite grains moving in circular and parabolic orbits. Grains evaporation occurs very close to the star. Basalt grains moving along circular orbits evaporate at a distance of about  $2.9R_{\text{star}}$ , regardless of their initial size (Fig. 4). Large micron grains with radius  $s > 100 \mu\text{m}$ , moving along elongated orbits close to parabolic one, dive onto the star long before they completely evaporate (Figure 4).

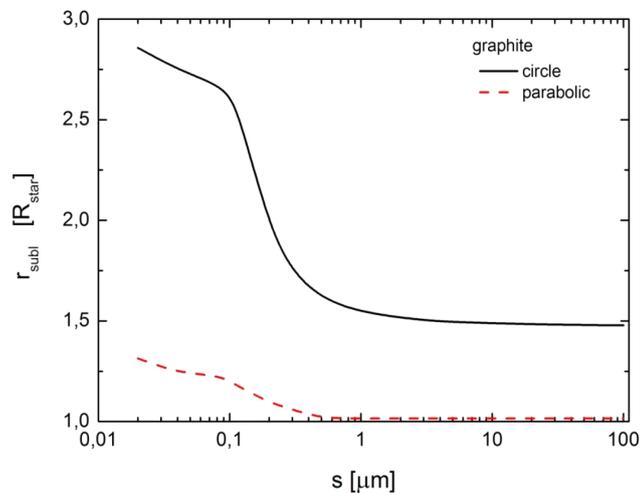


Figure 5. Distances from the star to the inner boundaries of the sublimation region of graphite grains freely moving along circular and parabolic orbits (red line – parabolic orbit, black line -circular orbit).

This property is even more profound for grains shown in Fig. 5. When moving in circular orbits, small grains with radius  $s < 0.1 \mu\text{m}$  evaporate in the region close to the evaporation boundary of basalt grains, while larger grains with radius  $s > 0.5 \mu\text{m}$  form the evaporation boundary at a distance of about  $1.5R_{\text{star}}$ . Grains of sizes  $s > 0.3 \mu\text{m}$  moving on parabolic orbits dive onto the star before completely evaporating.

**Conclusions.** Our calculations have shown that:

Firstly, dust leaving the parent bodies moving along circular orbits can form a clear boundary of the dust free zone at some distances from the star upon reaching the sublimation region. This distance for basalt grains is about  $2.9R_{\text{star}}$ , corresponding to a blackbody temperature of about  $T_{\text{bb}} = 1600\text{K}$ . For graphite grains, this distance is about  $1.5R_{\text{star}}$ , which corresponds to a higher temperature of  $T_{\text{bb}} = 2200\text{K}$ .

Secondly, dust of both silicate and carbon nature can fall on a cold white dwarf directly, without reaching complete evaporation, if the parent bodies and dust particles move in elongated orbits close to parabolic.

*This research has been funded by the Aerospace Committee of the Ministry of Digital Development, Innovations and Aerospace Industry of the Republic of Kazakhstan (Grant No. BR 11265408).*

#### Information about authors:

**Shestakova L.I.** – Ph.D. in Physics and Mathematics, head of the Laboratory of Physics of Stars and Nebulae, Fesenkov Astrophysical Institute, shest1952@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2223-5332>;

**Serebryanskiy A.V.** – Ph.D. in Physics and Mathematics, head of observational astronomy department, Fesenkov Astrophysical Institute, alex@fai.kz, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4313-7416>;

**Kenzhebekova A.I.** – Researcher at Faculty of Physics and Technology, Al-Farabi Kazakh National University, akm\_74\_08@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0223-0216>.

#### REFERENCES:

- [1] Baines M.J., Williams I.P., Asebiomo A.S. (1965). Resistance to the motion of a small sphere moving through a gas. *MNRAS* 130, 63–74. <https://doi.org/10.1093/mnras/130.1.63>.
- [2] Boren C., Hafmen D. (1983). Absorption and scattering of light by small particles. Wiley, New York.
- [3] Burns J., Lamy P., Soter S. (1979). Radiation forces on small particles in the solar system. *Icarus* 76, 1–48. [https://doi.org/10.1016/0019-1035\(79\)90050-2](https://doi.org/10.1016/0019-1035(79)90050-2).
- [4] Cassan A., Kubas D., et al. (2012). One or more bound planets per Milky Way star from microlensing observations. *Nature* 481, 167–169. <https://doi.org/10.1038/nature10684>.
- [5] Draine B. (1985). Tabulated optical properties of graphite and silicate grains. *Ap.J.S.* 57, 587–594. [10.1086/191016](https://doi.org/10.1086/191016).
- [6] Fossati L. and Bagnulo S., Haswell C.A., et al. (2012). The habitability and detection of Earth-like planets orbiting cool white dwarfs. *ApJ.* 757, L15. <https://doi.org/10.1088/2041-8205/757/1/L15>.
- [7] Hollands M., Tremblay P.E., Gänsicke B., Koester D., Gentile-Fusillo N. (2021). Alkali metals in white dwarf atmospheres as tracers of ancient planetary crust. *Nature Astronomy* 104, 36–41. <https://doi.org/10.1038/s41550-020-01296-7>.
- [8] Jiménez -Esteban F.M., et al. (2018). A white dwarf catalogue from Gaia-DR2 and the virtual observatory. *MNRAS* 480(4), 4505–4518. <https://doi.org/10.1093/mnras/sty2120>.
- [9] Kaiser B.C., et al. (2020). Lithium pollution of a white dwarf records the accretion of an extrasolar planetesimal. *Science* 371, 168–172. DOI: 10.1126/science.abd1714.
- [10] Lamy P. (1978). Optical properties of silicates in the far ultraviolet. *Icarus* 34, 68–75. [https://doi.org/10.1016/0019-1035\(78\)90126-4](https://doi.org/10.1016/0019-1035(78)90126-4).
- [11] Perets H. (2012). Planets in evolved binary systems. *AIPConf.Proc.* 1331, 56–75. <https://doi.org/10.1063/1.3556185>.
- [12] Reach W., Lisse C., von Hippel T., Mullally F. (2009). The dust cloud around the white dwarf G29-38. II. Spectrum from 5 to 40  $\mu\text{m}$  and mid-infrared photometric variability. *ApJ.* 693, 697–712. <https://doi.org/10.1088/0004-637X/693/1/697>.
- [13] Shestakova L., Demchenko B. (2016). Results of observations of the dust distribution in the F-corona of the Sun. *Solar System Research* 50, 143–160. <https://doi.org/10.1134/S0038094616020040>.
- [14] Shestakova L., Demchenko B. (2018). Orbital evolution of dust particles in the sublimation zone near the Sun. *Solar System Research* 52, 153–167. <https://doi.org/10.1134/S0038094618010082>.
- [15] Shestakova L., Demchenko B., Serebryanskiy A. (2019). On the orbital evolution of dust grains in the sublimation region around WD1145+017. *MNRAS* 487, 3935–3945. <https://doi.org/10.1093/mnras/stz1598>.
- [16] Shestakova L.I., Kenzhebekova A. I. (2021). Sublimation of dust particles near the white dwarf G29-38 // *News of the National Academy of sciences of the Republic of Kazakhstan, Physico-math. series.V.3.* p.156 – 166. <https://doi.org/10.32014/2020.2518-1726.58>. (in Russian).
- [17] Vanderbosch Z., et al. (2020). A white dwarf with transiting circumstellar material far outside the roche limit. *ApJ.* 897, 171. doi: <https://doi.org/10.3847/1538-4357/ab9649>.
- [18] Vanderburg A., Johnson J.A. and Rappaport S., Bieryla A. and Irwin J. et al. (2015). A disintegrating minor planet transiting a white dwarf. *Nature* 526, 546–549, <https://doi.org/10.1038/nature15527>.
- [19] Veras D. (2016). Post-main-sequence planetary system evolution. *R.Soc.Open sci.* 3, 150571. <https://doi.org/10.1098/rsos.150571>.
- [20] Zuckerman B. and Koester D., Reid I., Hunsch M. (2003). Metal lines in DA white dwarfs. *ApJ.* 596, 477–495. <https://doi.org/10.1086/377492>.

REPORTS OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES  
OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN  
ISSN 2224-5227

Volume 1, Number 341 (2022), 137-143

<https://doi.org/10.32014/2022.2518-1483.143>

УДК 520.43

МРНТИ 41.51.41

**С.А. Шомшекова\*, И.М. Измайлова, С.Г. Мошкина, А. Ж. Умирбаева**

Астрофизический институт имени В.Г. Фесенкова, Алматы, Казахстан.  
E-mail: shmshekva-saule@mail.ru

**ОЦИФРОВКА КОМЕТ ФОТОМЕТРИЧЕСКИХ АСТРОНЕГАТИВОВ  
АСТРОФИЗИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА ИМЕНИ В.Г. ФЕСЕНКОВА**

**Аннотация.** В данной статье представлены результаты оцифровки комет фотометрических астронегативов. На основе анализа архивных данных Астрофизического института имени В.Г. Фесенкова разработан «Цифровой журнал Астропластин». На данный момент цифровой журнал содержит информацию примерно по 10 000 архивным снимкам. В основном это спектры планетарных туманностей, сейфертовских галактик и астрофотографические снимки комет. Для оцифровки астропластин применялся стандартный сканер Epson Perfection V850 Pro с дополнительным программным обеспечением Silver Fast8, позволяющим в правильном порядке индивидуально выбрать нужные параметры для каждой астропластины, чтобы получить надежный результат. Проведены тестовое сканирование образцов астронегативов и выбор необходимых параметров для сканирования всего объема данных. Тестовое сканирование показало, что наиболее оптимальным вариантом оцифровки является режим с пространственным разрешением 1200 dpi. На данный момент оцифровано 635 астронегативов, в том числе 140 комет и для них соответствующие кадры для обработки 60 калибровок и 45 стандартов. Для автоматизации прописывания заголовка каждого кадра нами был написан программный код на языке программирования Python. В статье приведены оцифрованные астронегативы комет и для каждого были прописаны заголовки с помощью программного кода на языке программирования Python. Наш код был зарегистрирован на веб- сервисе “GitHub”, в работе приведена ссылка на код. Результат кода приведен в виде визуализации для кометы Пайдушкова C/1951 C1 которая наблюдалась в 1951 году 28 марта, экспозиция 1800 сек.

**Ключевые слова:** стеклянная библиотека, архивные данные, астронегативы, цифровой журнал, фотометрические данные, комета.

**С.А. Шомшекова\*, И.М. Измайлова, С.Г. Мошкина, А.Ж. Умирбаева**

В.Г. Фесенков атындағы Астрофизика институты, Алматы, Қазақстан.  
E-mail: shmshekva-saule@mail.ru

**В.Г. ФЕСЕНКОВ АТЫНДАҒЫ АСТРОФИЗИКА ИНСТИТУТЫНЫҢ КОМЕТАЛАРДЫҢ  
ФОТОМЕТРЛІК АСТРОНЕГАТИВТЕРІН ЦИФРЛАУЫ**

**Аннотация.** Бұл мақалада кометалар бейнеленген фотометрлік астронегативтерді цифрлау нәтижелері ұсынылған. В.Г. Фесенков атындағы Астрофизика институтының мұрағат мәліметтерін талдау негізінде «Астропластиналардың цифрлық журналы» құрылды. Қазіргі кезде цифрлық журнал шамамен 10 000 жуық мұрағаттық түсірілімдері бар ақпаратты құрайды. Негізінен ол, планеталық тұмандықтар, сейферт ғаламдары және астрофотографиялық кометалар түсірілімдерінен тұрады. Астропластиналарды цифрлауға сенімді нәтиже алуға әрбір астропластинаға жеке сәйкес параметрлерін реттілікпен таңдауға мүмкіндік беретін, SilverFast8 қосымша бағдарламамен қамтамасыздандырылған Epson Perfection V850 Pro стандартты сканері қолданылды. Астронегативтер үлгілеріне сынақ цифрлау жұмыстары жасалды және барлық мәліметтерді цифрлауға қажетті параметрлері таңдап алынды. Сынақ цифрлау жұмыстары кеңістіктік рұқсат беруі 1200 dpi болатын режим цифрлауға ең қолайлы

түрі болып табылды. Қазіргі уақытта 635 астронегатив цифрланды, соның ішінде 140 комета және оларды өңдеуге арналған 60 калибровка және 45 стандарттар. Әр бір кадрға (объектілер бейнеленген цифрлық сурет) сәйкес ақпаратты енгізуді автоматтандыруға Python бағдарламалық тілінде код жазылды. Мақалада Python бағдарламалық коды арқылы сәйкес ақпараттары енгізілген цифрланған кометалардың астронегативтері келтірілген. Біздің код “GitHub” веб желісінде тіркелген және жұмыста оған сілтеме берілген. 1951 жылы 28 наурызда, 1800 секунд экспозициямен бақыланған Пайдушков C/1951 C1 кометасы үшін код нәтижесі визуалды түрде көрсетілген.

**Түйін сөздер:** шыны кітапхана, мұрағаттық мәліметтер, астронегативтер, цифрлық журнал, фотометрлік мәлімет, комета.

**S.A. Shomshekova\*, I.M. Izmailova, S.G. Moshkina, A. Zh. Umirbayeva**

Fesenkov Astrophysical Institute, Almaty, Kazakhstan.  
E-mail: shmshekva-saule@mail.ru

### COMETS PHOTOMETRIC ASTRONEGATIVE DIGITALIZATION AT FESENKOV ASTROPHYSICAL INSTITUTE

**Abstract.** This article presents the results of comets' photometric astronegatives digitization. Based on the analysis of archival data of the Fesenkov Astrophysical Institute “Digital astroplate magazine” was developed. At the moment, the digital magazine contains information on approximately 10,000 archival photographs. These are mainly spectra of planetary nebulae, Seyfert galaxies and astrophotographic images of comets. Astroplates were digitized using a standard Epson Perfection V850 Pro scanner with additional SilverFast8 software that allows selecting individually the required parameters for each astroplate in the right order to obtain a reliable result. A test scanning of astronegatives samples and the selection of the necessary parameters for scanning the entire amount of data were carried out. Test scanning showed that the most optimal digitization option is a mode with a spatial resolution of 1200 dpi. At the moment, 635 astronegatives have been digitized, including 140 comets and their corresponding frames for processing 60 calibrations and 45 standards. To automate the writing of the title of each frame, we wrote a program code in the Python programming language. The article presents digitized astronegatives of comets and program code in the Python programming language was written for each heading. Our code has been registered on the “GitHub” web service, a link to the code is provided in this paper. The result of the code is shown as a visualization for the comet Paidushkov C/1951 C1, which was observed on March 28, 1951, with an exposure of 1800 sec.

**Key words:** astroplate library, archival data, astronegatives, digital journal, photometric data, comet.

**Введение.** Архив пластинок и пленок Астрофизического института имени В.Г. Фесенкова (АФИФ) охватывает временной интервал почти в 50 лет (1950-1989 гг.) и важен как для института, так и для мирового астрономического сообщества. Особую ценность представляет архивная информация о переменных объектах (различных типах переменных звезд, активных ядер галактик), поскольку фотометрическая и спектральная информация сохранилась только в стеклянных библиотеках обсерваторий, проводивших наблюдения в эти годы. Более того, для некоторых переменных объектов эта информация может содержаться исключительно в стеклянной библиотеке АФИФ.

Применение фотографии в астрономии стало решающим шагом в развитии астрофизики в конце девятнадцатого века. Используя фотографические телескопы и объективные призмы, астрономы получали изображения неба на стеклянных пластинках в течение более чем 100-летнего периода на многих обсерваториях по всему миру. В нашей работе мы опираемся на опыт подобных разработок, связанных с оцифровкой астрофотоматериалов. В работе [1] представлены профессиональные рекомендации по передовым методам обращения с астропластинами. В данной работе описывается оцифровка астрономических пластин, включая сохранение пластин, значение оцифровки пластин и техники оцифровки пластин.

В работе [2] представлены данные Международного альянса виртуальных обсерваторий (IVOA), спектроскопической виртуальной обсерватории (SVO), а также взаимосвязь между оцифровкой пластин и виртуальной обсерваторией (VO). Представлен архив из 30000 пластинок, включая спектрограммы, которые были получены с помощью телескопа Шмидта 60/90 см в Национальной астрономической обсерватории и 60-сантиметрового рефлектора в обсерватории Purple Mountain. Большинство этих

пластин были получены в 1970-1980 годах, которые хранятся в архиве обсерватории Цин Дао. В работе [3] показаны результаты исследования стеклянной библиотеки Астрономического института им. П.К. Штернберга (ГАИШ МГУ). С помощью архивных данных обнаружено большое количество новых переменных звезд. Показано, что можно проводить астрометрию с ошибкой около половины пикселя и фотометрию с ошибкой около  $0^m.15$ . В работе [4] представлена оцифровка архивных данных Первого Бюраканского исследования, совместно с Римским университетом “La Sapienza” (Италия). Для каждой пластинки проводилась привязка к астрономической системе координат с помощью полуавтоматической процедуры. Для фотометрических данных осуществлялся перевод в интенсивности, а все спектры обрабатывались с помощью процедур IRAF. Представлена первая проверка фотометрической точности.

По всему миру существует около 10 млн. астропластин [5]. Включение нашего оцифрованного архива дополнит всемирную базу примерно на 0.3%. Цифровой формат хранения позволит получить удаленный доступ с любой точки Земли к нашим архивным данным, которые могут быть использованы в современных научных задачах с использованием новых технологий обработки и анализа. Большинство обсерваторий мира эту работу уже провели и их архивы стеклянных библиотек переведены в цифровой формат. Такие библиотеки считаются “золотым запасом” обсерватории, который предоставляется для использования всему астрономическому сообществу.

В данной работе представлены результаты оцифровки комет фотометрических астронегативов. В нашем институте наблюдались кометы Аренда-Ролана, Энке, Мркоса, Бахарева, Чурюмова-Герасименко и многие другие [6,7].

**Материалы и основные методы фотографических наблюдении комет.** В Астрофизическом институте малые тела наблюдались в основном на 50-сантиметровым менисковом телескопе системы Максудова, который был установлен в обсерватории на Каменском Плато, на высоте 1450 метров над уровнем моря, в 1949 году. При наблюдениях малых тел часто применяли метод, предложенный Меткофом. Часовой механизм астрографа можно отрегулировать таким образом, чтобы астрограф смещался не вслед за звездами, а вслед за наблюдаемым объектом (угловая скорость перемещения которого известна). Тогда на негативе наблюдаемый объект изобразится кружочком, а все звезды — черточками (Рис. 1).



Рис. 1 – Фрагмент оцифрованного изображения Кометы Пайдушковой C/1951 C1, наблюдали методом Меткофом на менисковом телескопе Максудова (50см.), 1951 году 28 марта, экспозиция 1800 сек.

В методике Меткофа экспозиция может быть весьма продолжительной, а значит, накапливая энергию излучения наблюдаемого объекта, фотопластинка может зафиксировать очень слабосветящиеся объекты. Оригинален метод, предложенный известным советским астрономом С. Н. Блажко. На одной и той же пластинке получают три экспозиции с перерывом в 5—10 минут. Всякий раз перед новой экспозицией фотопластинка чуть-чуть (например, на одну минуту дуги) смещается по склонению. Нетрудно сообразить, что получится на негативе. Каждая звезда будет отображаться как три изображения, причем все эти изображения растянуты в параллельные друг к другу «цепочки» (Рис. 2) [8].

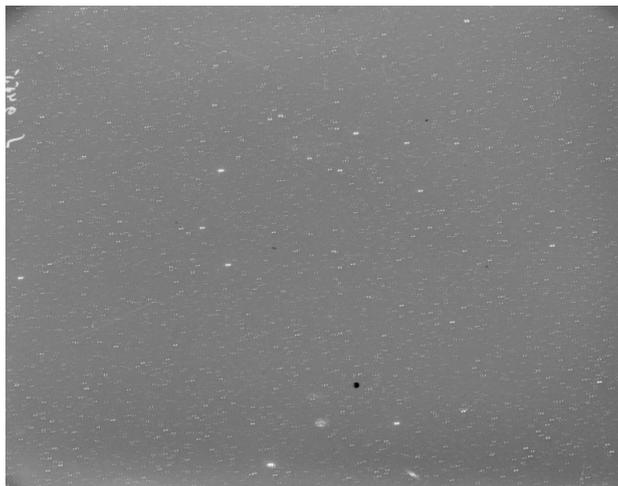


Рис. 2 - Фрагмент оцифрованного изображения Кометы Аренда-Ригго, наблюдали методом Блажко Меткофом на менисковом телескопе Максудова (50см.) 1951 году 30 марта, две экспозиции с перерывом 480 сек.

**Оцифровка комет астрофотографических астронегативов.** Оцифрованный формат данных должен соответствовать определенным требованиям для включения в глобальный каталог WFPDB (Wide-Field Plate Database), хранящийся в Центре астрономических данных в Софии и объединяющий базы данных о панорамных наблюдениях неба со всех обсерваторий [9]. WFPDB сейчас является источником информации для выбора нужных астропластин, а с размещением в нем оцифрованных изображений негативов каталог становится частью виртуальной обсерватории [10]. В работе [11, 12, 13] представлены профессиональные рекомендации по передовым методам обращения с астронегативами и описывается оцифровка астрономических пластин, включая сохранение пластин, значение оцифровки пластин и техники оцифровки пластин.

Будет полезно для читателей и в том числе потенциальных пользователей наших оцифрованных данных предоставить технические детали процесса цифровизации. Оцифровка комет фотометрических астронегативов проведена с помощью сканера Epson Perfection V850 Pro с дополнительным программным обеспечением SilverFast8, выбраны оптимальные параметры: очень прозрачный, негатив, с 16 bit, разрешение 1200 dpi в формате TIFF. Размер файла одного кадра 31.3 Мб. В табл. 1. приведен список оцифрованных комет астрофотографических астронегативов, полученных на менисковом телескопе Максудова, наблюдения проводились с 1950-1966гг. Предполагаемый следующий перигелий [14] для комет из нашего архива. В основном наблюдения проводили специалисты нашего института Д.А. Рожковский, Д.И. Городецкий, Т.П. Торопова.

Таблица 1 - Список оцифрованных комет с прописанными заголовками предполагаемой следующей перигелиями

Название объектов	data-obs (начало)	data-obs (конец)	Предполагаемой следующий перигелий
Комета Аренда	1951-03-10T17:08:43.000	1951-11-25T14:44:57.000	Периодическая (2024 май)
Комета Аренда-Ригго	1951-03-02T13:59:45.000	1951-04-26T20:00:35.000	Периодическая (2025 март)
Комета Ашбрук-Джексона	1957-03-24T07:21:50.000	1963-11-21T13:58:39.000	Периодическая (2025 октябрь)
Комета Копфа 22P	1951-03-10T18:08:42.000	1964-11-05T15:05:43.000	Периодическая (2022 март)
Комета Кроммелина 1928 III	1956-09-12T21:53:06.000	1956-09-12T23:18:06.000	Периодическая (2039 май)
Комета Неуймина II	1953-12-06T16:45:10.000	1954-02-05T16:31:39.000	Периодическая (2025 май)
Комета Ольберса	1956-09-12T14:22:07.000		Периодическая (2024 июнь)
Комета Отерма	1951-04-08T17:50:23.000		Периодическая (2022 декабрь; 2023 июль)
Комета Понс-Брукса 1953C	1953-09-04T15:20:50.000	1953-11-10T13:31:40.000	Периодическая (2024 апрель)
Комета Энке 2P	1951-01-08T13:39:13.000	1951-07-12T20:36:49.000	Периодическая (2023 октябрь)

Отсканированное изображение получается в формате .tiff. Далее полученное изображение в формате .tiff преобразуется в формат FIT (16-bit) с помощью программы Maxim DL Pro6.

**Основные результаты и анализ написание кода для заполнения заголовков полученных кадров.** Цифровизация архивных данных и накопление метаданных и дальнейшая работа с

результатами мотивировала нас написать код в Python для автоматизации заполнения заголовков полученных нами оцифрованных кадров [15]. При работе с программным кодом, написанным в Python, все кадры необходимо перевести из формата.fit в.fits, FITS (Flexible Image Transport System) – это формат файлов, используемый в науке для хранения, передачи и редактирования изображений и их метаданных. Для этого используется команда в программе IRAF – dataio.wfits. Так как программный код позволит работать со списком, время работы сокращается и минимизируется человеческий фактор при заполнении заголовков. Преобразованным в формат FITS изображениям для дальнейшего исследования необходимо прописать заголовки, используя созданный нами «Цифровой журнал Астропластин». Важными данными являются координаты центра астронегативов и время наблюдения. Обычно в рукописных наблюдательных журналах время указывается LST (local sidereal time) и/или LT (local time). Перевод времени в UT каждого кадра был автоматизирован и включен в указанный ранее программный код. На рис. 3 визуализирован процесс внесения данных из «Цифрового журнала Астропластин» в заголовки полученных кадров.

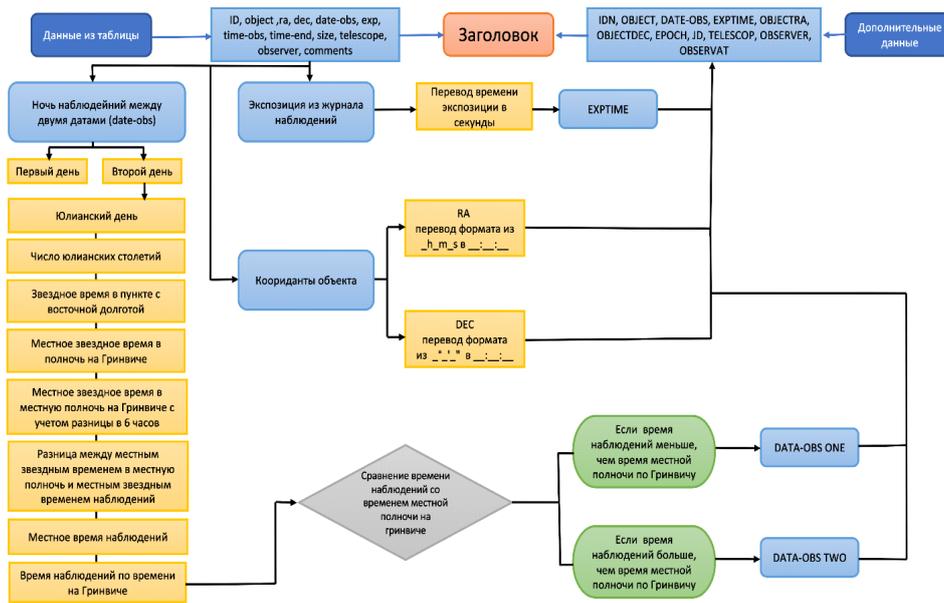


Рис. 3 – Визуализирован процесс внесения данных из «Цифрового журнала Астропластин» в заголовки полученных кадров

На рис. 4 представлен результат прописанного заголовка кадра с помощью программного кода на языке программирования Python для кометы Пайдушковой C/1951 C1 которая наблюдалась в 1951 году 28 марта, экспозиция 1800 сек.

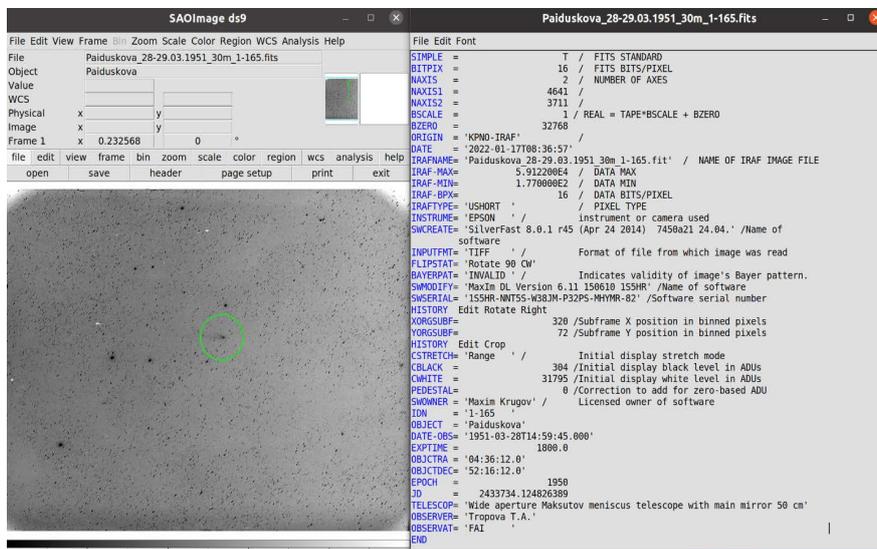


Рис. 4 - Пример заголовка кадра, прописанного в.fits файл с помощью программного кода

**Заключение.** Проведенный нами анализ архивных данных стеклянной библиотеки астрономических объектов АФИФ позволил нам создать формат “Цифрового журнала Астропластин”. На данный момент цифровой журнал содержит информацию примерно по 10000 архивным снимкам ([https://docs.google.com/spreadsheets/d/1kTneTpxyJbzmQ\\_b811NdOa5YqJBe4Iod/edit#gid=1243813143](https://docs.google.com/spreadsheets/d/1kTneTpxyJbzmQ_b811NdOa5YqJBe4Iod/edit#gid=1243813143)). В основном это спектры планетарных туманностей, сейфертовских галактик и фотометрические снимки комет. Из них около 1% не подлежат оцифровке по качеству и по сохранности. В данной работе были приведены результаты оцифровки астронегативов по наблюдениям комет. Для сканирования фотографических астронегативов комет использовался сканер Epson Perfection V850 Pro с дополнительным программным обеспечением SilverFast8, были выбраны оптимальные параметры: очень прозрачный, негатив, с 16 bit, разрешение 1200 dpi в формате TIFF. Разработан алгоритм перевода оцифрованных изображений из формата TIFF в формат FIT (16-bit) с помощью программы Maxim DL Pro 6. Для прописания заголовков оцифрованных кадров был написан программный код на языке программирования Python для удобства и автоматизации процесса. В ходе циклов программного кода прописывается заголовок каждого кадра с использованием метаданных “Цифрового журнала Астропластин”. Для внесения информации по оцифрованным астропластинам в базу данных Национальной Виртуальной обсерватории РК, вместе с оцифрованными и дополнительными информацией из журналов наблюдений, должны быть собраны в отдельные файлы все соответствующие метаданные, комментарии и другие связанные данные по объекту.

*Исследование финансируется Комитетом науки Министерства образования и науки Республики Казахстан (программа № BR10965141).*

#### **Information about authors:**

**Shomshekova S.A.** – PhD, Senior Researcher, Fesenkov Astrophysical Institute. Email: shmshekva-saule@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9841-453X>, моб.тел.: +77078092410;

**Izmailova I.M.** – Engineer, Fesenkov Astrophysical Institute. Email: izmailova@aphi.kz ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9878-0989>;

**Moshkina S.G.** – Research assistant, Fesenkov Astrophysical Institute. Email: sveta-moshkina@mail.ru ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3127-1308>;

**Umirbayeva A.Zh.** – Research assistant, Fesenkov Astrophysical Institute. Email: umirbayeva@aphi.kz ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9339-4990>.

#### **ЛИТЕРАТУРА**

[1] Schechner, Sara J.; Sliski, David. The Scientific and Historical Value of Annotations on Astronomical Photographic Plates // Journal for the History of Astronomy. - 2016. Vol. 47. No. 1, P.3-29. DOI: 10.1177/0021828615624094 (in Eng).

[2] Jin, Wen-Jing; Tang, Zheng-Hong; Wang, Shu-He et al., Review on IAU Work for Preservation and Digitization of Astronomical Photographic Plates and Suggestions of Plates Digitization in China // Progress in Astronomy. – 2007. Vol. 25. No. 1. P. 1 – 12 (in Eng).

[3] Mironov A.V.; Nikolaev F.N.; Tuchin A.S et al. Astrometry and Photometry with Plate Scans from Sternberg Astronomical Institute’s Photograph Collection (First Experiences) // Odessa Astronomical Publications. - 2007. Vol. 20. P. 81. (in Eng).

[4] Nesci R., Rossi C., Sclavi S. et al. Digitizing the Markarian Survey: First Tests of its Scientific Importance // Baltic Astronomy. – 2004. Vol. 13, P. 671-676. (in Eng).

[5] Hudec R., Splittgerber E. Note on magnitude estimation on digitized astronomical photographic plates // Contributions of the Astronomical Observatory Skalnaté Pleso. - 2020. - Vol. 50. № 3. - P. 704-710. DOI: 10.31577/caosp.2020.50.3.704 (in Eng).

[6] Курчаков А.В. Фотометрическое изучение кометы Аренда-Ролана // Известия Астрофизического института. АН Каз. ССР. - 1960. - Т.IX. - С. 21-28. (in Russ).

[7] Матягин В.С. Природа метеоров и комет // Казахское государственное издательство. Алма-Ата. - 1956. - С. 52. (in Russ).

[8] Зигель Ф.Ю. Малые планеты // Издательство «Наука». Москва. - 1969. - С.106. (in Russ).

[9] Tsvetkov M.K. Wide-Field Plate Database: A Decade of Development // edited by M. Tsvetkov, V. Golev, F. Murtagh, and R. Molina, Heron Press, Sofia, - 2006. - P.10-42. (in Eng).

[10] Tsvetkov K. P., Tsvetkov M.K., Sergeeva T.P., Sergeev A.V. Wide-field plate archives stored in the Ukrainian

Observatories // Кинематика и физика небесных тел. – 2009. –Т. 25. № 5. –С. 402-412. (in Eng).

[11] Schechner S.J., Sliski D. The Scientific and Historical Value of Annotations on Astronomical Photographic Plates // Journal for the History of Astronomy. - 2016. - V. 47. № 1. - P.3-29. DOI: 10.1177/0021828615624094. (in Eng).

[12] Vereshchagin S.V., Chupina N.V. Digital archive of the astrograph plates stored at the INASAN Zvenigorod observatory // Baltic Astronomy. – 2012. - Vol. 21. - P. 366–370. (in Eng).

[13] Верещагин С.В. Архивы Звенигородской астрономической обсерватории. // Труды 16-й Всероссийской научной конференции «Электронные библиотеки: перспективные методы и технологии, электронные коллекции» – RCDL-2014, Дубна, Россия, 13–16 октября 2014. – С.411-415. (in Russ).

[14] <http://www.aerith.net/comet/catalog/index-periodic-earth.html>.

[15] [https://github.com/ill-i/Glass\\_Lib.git](https://github.com/ill-i/Glass_Lib.git).

## REFERENCES

[1] Schechner Sara J.; Sliski David. The Scientific and Historical Value of Annotations on Astronomical Photographic Plates // Journal for the History of Astronomy. - 2016. Vol. 47. No. 1, P.3-29. DOI: 10.1177/0021828615624094 (in Eng).

[2] Jin Wen-Jing; Tang Zheng-Hong; Wang, Shu-He et al., Review on IAU Work for Preservation and Digitization of Astronomical Photographic Plates and Suggestions of Plates Digitization in China // Progress in Astronomy. – 2007. Vol. 25. No. 1. P. 1 – 12 (in Eng).

[3] Mironov A.V.; Nikolaev F.N.; Tuchin A.S et al. Astrometry and Photometry with Plate Scans from Sternberg Astronomical Institute’s Photograph Collection (First Experiences) // Odessa Astronomical Publications. - 2007.Vol. 20. P. 81 (in Eng).

[4] Nesci R., Rossi C., Scavi S. et al. Digitizing the Markarian Survey: First Tests of its Scientific Importance // Baltic Astronomy. – 2004. Vol. 13, P. 671-676 (in Eng).

[5] Hudec R., Splittgerber E. Note on magnitude estimation on digitized astronomical photographic plates // Contributions of the Astronomical Observatory Skalnaté Pleso. - 2020. - Vol. 50. № 3. - P. 704-710. DOI: 10.31577/caosp.2020.50.3.704 (in Eng).

[6] Kurchakov A.V. Photometric study of the Arend-Roland comet // News of the Astrophysical Institute. AN Kaz. SSR. - 1960. - Vol. IX. - Pp. 21-28. (in Russ).

[7] Matyagin V.S. The nature of meteors and comets // Kazakh State Publishing House. Alma-Ata. - 1956. - p. 52. (in Russ).

[8] Siegel F.Yu. Small planets // Nauka Publishing House. Moscow. - 1969. - p.106. (in Russ).

[9] Tsvetkov M.K. Wide-Field Plate Database: A Decade of Development // edited by M. Tsvetkov, V. Golev, F. Murtagh, and R. Molina, Heron Press, Sofia, - 2006. - P.10-42. (in Eng).

[10] Tsvetkov K.P., Tsvetkov M.K., Sergeeva T.P., Sergeev A.V. Wide-field plate archives stored in the Ukrainian Observatories // Kinematics and physics of celestial bodies. – 2009. – Vol. 25. № 5. – P. 402-412. (in Eng).

[11] Schechner S.J., Sliski D. The Scientific and Historical Value of Annotations on Astronomical Photographic Plates // Journal for the History of Astronomy. - 2016. - V. 47. № 1. - P.3-29. DOI: 10.1177/0021828615624094. (in Eng).

[12] Vereshchagin S.V., Chupina N.V. Digital archive of the astrograph plates stored at the INASAN Zvenigorod observatory // Baltic Astronomy. – 2012. - Vol. 21. - P. 366–370. (in Eng).

[13] Vereshchagin S.V. Archives of the Zvenigorod Astronomical Observatory. // Proceedings of the 16th All-Russian Scientific Conference “Electronic Libraries: Promising Methods of Itchnology, electronic Collections - RCDL-2014, Dubna, Russia, October 13-16, 2014. - pp. 411-415. (in Russ).

[14] <http://www.aerith.net/comet/catalog/index-periodic-earth.html>

[15] [https://github.com/ill-i/Glass\\_Lib.git](https://github.com/ill-i/Glass_Lib.git).

## МАЗМҰНЫ

### БИОТЕХНОЛОГИЯ

<b>Э.К. Асембаева, Э.К. Адильбекова, А.Б. Токтамысова, З.Ж. Сейдахметова, А.Б. Бейсембаева</b> ПРЕБИОТИКАЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІ БАР СҮТҚЫШҚЫЛДЫ ӨНІМНІҢ ҚАУІПСІЗДІК КӨРСЕТКІШТЕРІ.....	5
<b>С.Б. Бакиров, Қ. Ғалымбек, А.К. Маденова, К. Акан, Н.С. Сафарова</b> ҚАТТЫ ҚАРА КҮЙЕ ( <i>Tilletiacaries (DC.) Tul.</i> ) ПАТОГЕНІНЕ БИДАЙ ҮЛГІЛЕРІНІҢ ТӨЗІМДІЛІГІН СЫНАУ.....	12
<b>Г.Н. Калыкова, И.К. Купсуралиева, А.О. Сагитов</b> ҚЫРҒЫЗСТАНДАҒЫ СЕМЕНОВ САМЫРСЫНЫНЫҢ ЗИЯНКЕСТЕРІ МЕН АУРУЛАРЫ.....	21
<b>В.В. Малородов, А.К. Османян, Р.З. Абдулхаликов, М.Т. Каргаева</b> ТАУЫҚҚОРАЛАРДАҒЫ МИКРОКЛИМАТ БІРКЕЛКІЛІГІНІҢ БРОЙЛЕРДІ ӨСІРУГЕ ТИІМДІ ӨСЕРІ.....	27
<b>С.С. Манукян</b> ЕКІ ЖАҚТЫ ТЫҒЫЗДАУ АРҚЫЛЫ АЛЫНҒАН "ЛОРИ" ІРІМШІГІНІҢ АНИЗОТРОПИЯСЫ.....	34
<b>Д.Ә. Смағұлова, Н.Д. Курманғалиева, Ә.С. Сұлтанова</b> ҚАЗАҚСТАННЫҢ ОҢТҮСТІК-ШЫҒЫСЫНЫҢ ШАРУАШЫЛЫҚ-БАҒАЛЫ БЕЛГІЛЕРІ БОЙЫНША АҚБАС ҚЫРЫҚҚАБАТТЫҢ СҰРЫПТАРЫН БАҒАЛАУ.....	43
<b>Ю.А. Юлдашбаев, А.М. Абдулмуслимов, А.А. Хожоков, Д.А. Баймұқанов</b> ДАҒЫСТАН ТАУЛЫ ҚОЙ ТҰҚЫМЫНЫҢ ЖӘНЕ ОЛАРДЫҢ БУДАНДАРЫНЫҢ ЕТТЕРІНІҢ БИОЛОГИЯЛЫҚ ЖӘНЕ ХИМИЯЛЫҚ КӨРСЕТКІТЕРІ.....	48

### ФИЗИКА

<b>Р.Н. Асылбаев, Г.М. Баубекова, Э.Ш. Анаева</b> ЖОҒАРЫ ЭНЕРГИЯЛЫҚ ИОНДАРМЕН СӘУЛЕЛЕНГЕН $\text{CaF}_2$ ЖӘНЕ $\text{MgO}$ МОНОКРИСТАЛДАРЫНЫҢ ТЕРМОБЕЛСЕНДІРІЛГЕН ЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯСЫ.....	54
<b>З.И. Джамалова, Б.М. Калдыбаева, С.А. Болдырев, Д.М. Кенжебеков</b> P-GRAPHPROГРАММАСЫНҚОЛДАНУҮШІНМОДЕЛДЕРҚҰРУЖӘНЕ ТЕХНОЛОГИЯЛЫҚ ПРОЦЕССТЕРДІ ОҢТАЙЛАНДЫРУ ӘДІСТЕМЕСІ.....	64
<b>В.Ю. Ким</b> РЕНТГЕН ПУЛЬСАРЛАРЫН МАССИВТІ ҚОС РЕНТГЕН ЖҮЙЕЛЕРІНІҢ ЖҰРНАҒЫ РЕТІНДЕ ОҚШАУЛАУ.....	72
<b>М.С. Есенаманова, А. Ануарбекова, Д. Рысқалиева, Ж.С. Есенаманова, А.Е. Глепбергенова</b> АТЫРАУ ОБЛЫСЫНДАҒЫ «ТЕҢІЗШЕВРОЙЛ» ЖШС НЫСАНДАРЫНАН АТМОСФЕРАҒА ШЫҒАТЫН ЛАСТАУШЫ ЗАТТАРДЫҢ ШЫҒАРЫНДЫЛАРЫН ТАЛДАУ.....	84
<b>Д.Б. Куватова, Д.В. Юрин, М.А. Макуков, Ч.Т. Омаров</b> ХЕРНКВИСТ ИЗОТРОПТЫ СФЕРАСЫНЫҢ КЕҢІСТІКТІК ҚҰРЫЛЫМДЫ ЖАНШЫЛУҒА РЕАКЦИЯСЫ.....	94
<b>Ж.С. Мұстафаев, Рысқұлбекова Л.М.</b> ІЛЕ ӨЗЕНІНІҢ СУЖИНАУ АЛАБЫНЫҢ КЛИМАТТЫҚ ӨЛШЕМДЕРІНІҢ КЕҢІСТІКТІК-УАҚЫТТЫҚ ӨЗГЕРУІ.....	102

<b>Г.Е. Сағындықова, С.Ж. Қазбекова, Э. Елстс, Г.А. Абденова, Ж.К. Ермакова</b> TL <sup>+</sup> ИОНДАРЫМЕН АКТИВТЕНДІРІЛГЕН LiKSO <sub>4</sub> КРИСТАЛЫНЫҢ ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯСЫ.....	110
<b>М.К. Скаков, Ас.М. Жилкашинова, Ал.М. Жилкашинова, И.А Очеретько.</b> СО-CR-AI-Y КОМПОЗИТТІК ЖАБЫНДАРЫНЫҢ ҚЫЗМЕТ ЕТУ МЕРЗІМІН БОЛЖАУДЫҢ ЕСЕПТІК-ЭКСПЕРИМЕНТТІК ӘДІСІ.....	117
<b>Г.Т. Омарова, Ж.Т. Омарова</b> КОМЕТАЛАР ДИНАМИКАСЫНЫҢ КЕРІ ЕСЕБІ.....	124
<b>Л.И. Шестакова, А.В. Серебрянский, А.И. Кенжебекова</b> СУЫҚ АҚ ЕРГЕЖЕЙЛІ ЖҰЛДЫЗДАРДЫҢ СУБЛИМАЦИЯ АЙМАҒЫНДАҒЫ ТОЗАҢДЫ БӨЛШЕКТЕРІНІҢ ДИНАМИКАСЫ.....	130
<b>С.А. Шомшекова, И.М. Измайлова, С.Г. Мошкина, А. Ж. Умирбаева</b> В.Г. ФЕСЕНКОВ АТЫНДАҒЫ АСТРОФИЗИКА ИНСТИТУТЫНЫҢ КОМЕТАЛАРДЫҢ ФОТОМЕТРЛІК АСТРОНЕГАТИВТЕРІН ЦИФРЛАУЫ.....	137

## СОДЕРЖАНИЕ

### БИОТЕХНОЛОГИЯ

<b>Э.К. Асембаева, Э.К. Адильбекова, А.Б. Токтамысова, З.Ж. Сейдахметова, А.Б. Бейсембаева</b> ПОКАЗАТЕЛЕЙ БЕЗОПАСНОСТИ КИСЛОМОЛОЧНЫХ ПРОДУКТОВ С ПРЕБИОТИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ.....	5
<b>С.Б. Бакиров, К. Галымбек, А.К. Маденова, К. Акан, Н.С. Сафарова</b> ИСПЫТАНИЯ ОБРАЗЦОВ ПШЕНИЦЫ НА УСТОЙЧИВОСТЬ ПАТОГЕННОСТИ ТВЁРДОЙ ГОЛОВНИ ( <i>TILLETIACARIES (DC.) TUL.</i> ).....	12
<b>Г.Н. Калыкова, И.К. Купсуралиева, А.О. Сагитов</b> ВРЕДИТЕЛИ И БОЛЕЗНИ ПИХТЫ СЕМЕНОВА В КЫРГЫЗСТАНЕ.....	21
<b>В.В. Малородов, А.К. Османян, Р.З.Абдулхаликов, М.Т. Каргаева</b> ВЛИЯНИЕ ПОВЫШЕНИЯ РАВНОМЕРНОСТИ МИКРОКЛИМАТАВ ПТИЧНИКАХ НА РЕЗУЛЬТАТИВНОСТЬ ВЫРАЩИВАНИЯ БРОЙЛЕРОВ.....	27
<b>С.С. Манукян</b> НИЗОТРОПИЯ СРЕДНЕГО СЛОЯ СЫРА “ЛОРИ”, ВЫРАБОТАННОГО ДВУХСТОРОННИМ ПРЕССОВАНИЕМ.....	34
<b>Д.А. Смагулова, Н.Д. Курмангалиева, А.С. Султанова</b> ОЦЕНКА СОРТООБРАЗЦОВ БЕЛОКОЧАННОЙ КАПУСТЫ ПО ХОЗЯЙСТВЕННО-ЦЕННЫМ ПРИЗНАКАМ В УСЛОВИЯХ ЮГО-ВОСТОКА КАЗАХСТАНА.....	43
<b>Ю.А. Юлдашбаев, А.М. Абдулмуслимов, А.А. Хожожков, Д.А. Баймуканов</b> БИОЛОГИЧЕСКИЕ И ХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ МЯСА БАРАНЧИКОВ ДАГЕСТАНСКОЙ ГОРНОЙ ПОРОДЫ И ИХ ПОМЕСЕЙ.....	48

### ФИЗИКА

<b>Р.Н. Асылбаев, Г.М. Баубекова, Э.Ш. Анаева</b> ТЕРМОСТИМУЛИРОВАННАЯ ЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ КРИСТАЛЛОВ $MgO$ И $CaF_2$ , ОБЛУЧЕННЫХ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ ИОНАМИ.....	54
<b>З.И. Джамалова, Б.М. Калдыбаева, С.А.Болдырев, Д.М. Кенжебеков</b> МЕТОДОЛОГИЯ ПОСТРОЕНИЯ МОДЕЛЕЙ И ОПТИМИЗАЦИИТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ P-GRAPH.....	64
<b>В.Ю. Ким</b> ИЗОЛИРОВАННЫЕ РЕНТГЕНОВСКИЕ ПУЛЬСАРЫ КАК ВОЗМОЖНЫЕ ПОТОМКИ МАССИВНЫХ РЕНТГЕНОВСКИХ ДВОЙНЫХ СИСТЕМ.....	72
<b>М.С. Есенаманова, А. Ануарбекова, Д. Рыскалиева, Ж.С. Есенаманова, А.Е. Тлепбергенова</b> АНАЛИЗ ВЫБРОСОВ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В АТМОСФЕРУ ДЛЯ ОБЪЕКТОВ ТОО «ТЕНГИЗШЕВРОЙЛ» В АТЫРАУСКОЙ ОБЛАСТИ.....	84
<b>Д.Б. Куватова, Д.В. Юрин, М.А. Макуков, Ч.Т. Омаров</b> ОТКЛИК ИЗОТРОПНОЙ СФЕРЫ ХЕРНКВИСТА НА СПЛЮЩИВАНИЕ ЕГО ПРОСТРАНСТВЕННОЙ СТРУКТУРЫ.....	94

<b>Ж.С. Мустафаев, Рыскулбекова Л.М.</b> ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЕ ИЗМЕНЕНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ВОДОСБОРА БАССЕЙНА РЕКИ ИЛЕ.....	102
<b>Г.Е. Сагындыкова, С.Ж. Казбекова, Э. Елстс, Г.А. Абденова, Ж.К. Ермакова</b> ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ $\text{LiKSO}_4$ , АКТИВИРОВАННЫХ ИОНАМИ $\text{TL}^+$ .....	110
<b>М.К. Скаков, Ас.М. Жилкашинова, Ал.М. Жилкашинова, И.А. Очердько</b> РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ МЕТОД ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РЕСУРСА КОМПОЗИЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ $\text{CO-CR-Al-Y}$ .....	117
<b>Г.Т. Омарова, Ж.Т. Омарова</b> К ОБРАТНОЙ ЗАДАЧЕ ДИНАМИКИ КОМЕТ.....	124
<b>Л.И. Шестакова, А.В. Серебрянский, А.И. Кенжебекова</b> ДИНАМИКА ПЫЛЕВЫХ ЧАСТИЦ В ЗОНЕ СУБЛИМАЦИИ ХОЛОДНЫХ БЕЛЫХ КАРЛИКОВ.....	130
<b>С.А. Шомшекова, И.М. Измайлова, С.Г. Мошкина, А. Ж. Умирбаева</b> ОЦИФРОВКА КОМЕТ ФОТОМЕТРИЧЕСКИХ АСТРОНЕГАТИВОВ АСТРОФИЗИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА ИМЕНИ В.Г. ФЕСЕНКОВА.....	137

## CONTENTS

### BIOTECHNOLOGY

<b>E.K. Assembayeva, E.K. Adilbekova, A.B. Toktamyssova, Z.Zh. Seidakhmetova, A.B. Beisembayeva</b> SAFETY INDICATORS OF SOUR MILK PRODUCTS WITH PREBIOTIC PROPERTIES.....	5
<b>S.B. Bakirov, K. Galymbek, A.K. Madenova, K. Akan, N.S. Safarova</b> RESISTANCE TESTING OF WHEAT SAMPLES TO COMMON BUNT ( <i>Tilletia caries</i> (dc.) Tul.) PATHOGENS.....	12
<b>G.N. Kalykova, I.K. Kupsuralieva, A.O. Sagitov</b> PESTS AND DISEASES OF SEMYONOV FIRS IN KYRGYZSTAN.....	21
<b>V.V. Malorodov, A.K. Osmanyay, R.Z. Abdulkhalikov, M. T. Kargaeyeva</b> THE EFFECT OF INCREASING THE UNIFORMITY OF THE MICROCLIMATE IN POULTRY HOUSES ON THE EFFECTIVENESS OF BROILER GROWING.....	27
<b>S.S. Manukyan</b> ANISOTROPY OF CHEESE “LORI” PRODUCED BY DOUBLE-SIDED PRESSING.....	34
<b>Smagulova D.A., Kurmangalieva N.D., Sultanova A.S.</b> EVALUATION OF VARIETIES OF WHITE CABBAGE ACCORDING TO ECONOMICALLY VALUABLE CHARACTERISTICS IN THE CONDITIONS OF THE SOUTH-EAST OF KAZAKHSTAN.....	43
<b>Yu.A. Yuldashbayev, A.M. Abdulmuslimov, A.A. Khozhokov, D.A. Baimukanov</b> BIOLOGICAL AND CHEMICAL PARAMETERS OF MEAT OF SHEEP OF THE DAGESTAN MOUNTAIN BREED AND THEIR HYBRIDS.....	48

### PHYSICS

<b>R. Assylbayev, G. Baubekova, E. Anaeva</b> THERMOSTIMULATED LUMINESCENCE OF CaF <sub>2</sub> AND MgO SINGLE CRYSTALS IRRADIATED WITH HIGH-ENERGY IONS.....	54
<b>Z.I. Jamalova, B.M. Kaldybayeva, S.A. Boldyryev, D.M. Kenzhebekov</b> METHODOLOGY FOR BUILDING MODELS AND OPTIMIZING TECHNOLOGICAL PROCESSES USING P-GRAPH SOFTWARE.....	64
<b>V.Y. Kim</b> ISOLATED X-RAY PULSARS AS POSSIBLE DESCENDANTS OF HIGH-MASS X-RAY BINARY SYSTEMS.....	72
<b>M. Yessenamanova, A. Anuarbekova, D. Ryskalieva, Zh. Yessenamanov, A.E. Tlepbergenova</b> ANALYSIS OF EMISSIONS OF POLLUTANTS INTO THE ATMOSPHERE FOR THE FACILITIES OF TENGIZCHEVROIL LLP IN ATYRAU REGION.....	84
<b>D.B. Kuvatova, D.V. Yurin, M.A. Makukov, C.T. Omarov</b> RESPONSE OF THE ISOTROPIC HERNQUIST SPHERE TO FLATTENING OF ITS SPATIAL STRUCTURE.....	94
<b>Zh.S. Mustafayev, Ryskulbekova L.M.</b> SPATIAL-TIME CHANGE IN THE CLIMATIC PARAMETERS OF THE DRAINAGE OF THE RIVER BASIN ILI.....	102
<b>G.E. Sagyndykova, S.Zh. Kazbekova, E. Elsts, G.A. Abdenova, Zh.K. Yermekova</b> PHOTOLUMINESCENCE OF LiKSO <sub>4</sub> ACTIVATED BY TL <sup>+</sup> IONS.....	110

<b>M. Skakov, As. Zhilkashinova, I.Ocheredko, Al. Zhilkashinova</b> COMPUTATIONAL – EXPERIMENTAL METHOD OF FORECASTING THE LIFETIME OF CO-CR-AL-Y COMPOSITE COATINGS.....	117
<b>G.T. Omarova, Zh.T. Omarova</b> TO THE INVERSE PROBLEM OF COMET DYNAMICS.....	124
<b>L.I. Shestakova, A.V. Serebryanskiy, A.I. Kenzhebekova</b> DYNAMICS OF DUST GRAIN IN THE SUBLIMATION ZONE OF COLD WHITE DWARFS.....	130
<b>S.A. Shomshekova, I.M. Izmailova, S.G. Moshkina, A. Zh. Umirbayeva</b> COMETS PHOTOMETRIC ASTRONEGATIVE DIGITALIZATION AT FESENKOV ASTROPHYSICAL INSTITUTE.....	137

## **Publication Ethics and Publication Malpractice in the journals of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan**

For information on Ethics in publishing and Ethical guidelines for journal publication see <http://www.elsevier.com/publishingethics> and <http://www.elsevier.com/journal-authors/ethics>.

Submission of an article to the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan implies that the work described has not been published previously (except in the form of an abstract or as part of a published lecture or academic thesis or as an electronic preprint, see <http://www.elsevier.com/postingpolicy>), that it is not under consideration for publication elsewhere, that its publication is approved by all authors and tacitly or explicitly by the responsible authorities where the work was carried out, and that, if accepted, it will not be published elsewhere in the same form, in English or in any other language, including electronically without the written consent of the copyright-holder. In particular, translations into English of papers already published in another language are not accepted.

No other forms of scientific misconduct are allowed, such as plagiarism, falsification, fraudulent data, incorrect interpretation of other works, incorrect citations, etc. The National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan follows the Code of Conduct of the Committee on Publication Ethics (COPE), and follows the COPE Flowcharts for Resolving Cases of Suspected Misconduct ([http://publicationethics.org/files/u2/New\\_Code.pdf](http://publicationethics.org/files/u2/New_Code.pdf)). To verify originality, your article may be checked by the originality detection service Cross Check <http://www.elsevier.com/editors/plagdetect>.

The authors are obliged to participate in peer review process and be ready to provide corrections, clarifications, retractions and apologies when needed. All authors of a paper should have significantly contributed to the research.

The reviewers should provide objective judgments and should point out relevant published works which are not yet cited. Reviewed articles should be treated confidentially. The reviewers will be chosen in such a way that there is no conflict of interests with respect to the research, the authors and/or the research funders.

The editors have complete responsibility and authority to reject or accept a paper, and they will only accept a paper when reasonably certain. They will preserve anonymity of reviewers and promote publication of corrections, clarifications, retractions and apologies when needed. The acceptance of a paper automatically implies the copyright transfer to the National Academy of sciences of the Republic of Kazakhstan.

The Editorial Board of the National Academy of sciences of the Republic of Kazakhstan will monitor and safeguard publishing ethics.

Правила оформления статьи для публикации в журнале смотреть на сайте:

**[www:nauka-nanrk.kz](http://www.nauka-nanrk.kz)**

**ISSN 2518-1483 (Online),  
ISSN 2224-5227 (Print)**

**<http://reports-science.kz/index.php/en/archive>**

Редакторы: *М.С. Ахметова, А. Ботанқызы, Д.С. Аленов, Р.Ж. Мрзабаева*  
Верстка на компьютере *Г.Д. Жадырановой*

Подписано в печать 10.03.2022.  
Формат 60x881/8. Бумага офсетная. Печать - ризограф.  
9,0 п.л. Тираж 300. Заказ 1.