

ISSN 0002 – 3221

АТАЙЫН ЧЫГАРЫЛЫШ  
СПЕЦИАЛЬНЫЙ ВЫПУСК

КЫРГЫЗ РЕСПУБЛИКАСЫНЫН  
УЛУТТУК ИЛИМДЕР АКАДЕМИЯСЫНЫН

**КАБАРЛАРЫ**

**№10**

**ИЗВЕСТИЯ**

НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК  
КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ

БИШКЕК



2025

*ilimbasma@mail.ru*

**ИЗВЕСТИЯ  
НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК  
КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ**

ISSN 0002-3221

**Редакционно-издательская коллегия:**

*член-корреспондент НАН КР К.Е.Абдрахматов (главный редактор)*  
*академик НАН КР Ч.И Арабаев (зам. главного редактора)*  
*член-корреспондент НАН КР Б. М. Худайбергенова (отв. секретарь)*  
*академик Иса Акпер оглы Габиббейли (Азербайджан)*  
*академик НАН КР А. А. Акматалиев*  
*академик НАН КР А.А Асанканов*  
*академик НАН КР А. А. Борубаев*  
*член-корреспондент НАН КР Д.С. Джаилов*  
*академик НАН КР М. С. Джуматаев*  
*академик Г. Т. Ситпаева (Казахстан)*  
*академик НАН КР Ш. Ж. Жоробекова*  
*академик НАН КР А.Т. Жунушов*  
*член-корреспондент А.А. Абдуллаев (Таджикистан)*  
*академик Дархан Кадыралы уулу (Казахстан)*  
*академик Ш.Ш. Сугдуллаев (Узбекистан)*  
*член-корреспондент В.С. Паитецкий (Россия)*

Журнал основан  
в 1966 г.  
Выходит 4 раза  
в год

Журнал зарегистрирован  
в Министерстве  
юстиции КР  
свидетельство  
№1950

Журнал  
входит в  
систему РИНЦ  
с 2016 г.

ИЦ «Илим»  
НАН КР  
г. Бишкек  
пр. Чуй 265а

## СОДЕРЖАНИЕ МАЗМУНУ CONTENT

## 1-СЕКЦИЯ

<b>Акматов Б.Ж., Асанова К. А., Дурсунбай кызы С.</b> О равенстве величин тепловой энергии, выделенной водой Суудан бөлүнгөн энергиянын чондуктарынын барабардыгы жөнүндө On the equality of the values of thermal energy released by water.....	12
<b>Атажонов М. О., Абдуллаева М.П., Чынгызбек кызы Зыяда</b> Выбор и оптимизация контактных материалов для гибридной системы, состоящей из фотоэлектрической ячейки на основе ito термоэлектрического модуля $Bi_2Te_3/Sb_2Te_3$ . $Bi_2Te_3/Sb_2Te_3$ термоэлектрдик модулдардан жана Ito негизиндеги фотоэлектрдик ячейкалардан турган гибридик система үчүн байланыш материалдарын тандоо жана оптималдаштыруу Selection and optimization of contact materials for a hybrid system comprising an ito based photovoltaic cell and a $Bi_2Te_3/Sb_2Te_3$ thermoelectric module.....	16
<b>Жумалиев К.М., Аккозов А.Дж., Аманова Н.Т.</b> Индексы растительности как индикаторы состояния сельскохозяйственных культур Өсүмдүктөрдүн индекстери айыл-чарба өсүмдүктөрүнүн өсүш абалынын индикаторлору Vegetation indices as indicators of the state of agricultural crops.....	23
<b>Исманов М. М., Токтобаева Г. Т.</b> Стендовые испытания новой камнерезной машины КМЦ-1 КМЦ-1 жаңы таш кесүүчү машинаны стендик сыноолор Bench tests of the new stone-cutting machine СМС-1.....	26
<b>Ташполотов Ы., Калидин кызы Тойжан</b> Влияние базальтового порошка и температуры обжига на свойства композитных материалов на основе глины Базальт порошогунун жана күйүү температурасынын чоподон жасалган композиттик материалдардын касиеттерине тийгизген таасири Effect of basalt powder and firing temperature on the properties of clay-based composite materials.....	36
<b>Камбарова Г.Б., Джапарова Ш., Сартова К.А, Чакаев Н.</b> Влияние ультразвуковой обработки на выход гуминовых кислот из угля месторождения Кара-Кече Кара-Кече кенинин көмүрүнөн гумин кислоталарынын чыгышына ультраун менен иштетүүнүн таасири Effect of ultrasonic treatment on the yield of humic acids from Karakeche coal deposit.....	42
<b>Кулиев А.С., Хегай И., Конурбаева К.</b> Без колючая форма облепихи крушиновидной ( <i>hippophae rhamnoides l</i> ) в природных популяциях Иссык-Куля Ысык-Көлдүн табигый калкындагы чычырканактын ( <i>hippophae rhamnoides l</i> ) тикенсиз формасы A thorny-less form of sea buckthorn ( <i>hippophae rhamnoides l</i> ) in natural populations of Issyk-Kul.....	47

**Сартова К. А., Камбарова Г.Б., Сарымсаков Ш.**

Исследование связующих веществ для брикетирования мелких классов углей КР  
 КР майда класстагы көмүрлөрүн брикеттөө үчүн байланыштыруучу заттарды изилдөө  
 Study of binding substances for briquetting of small classes of coals KR.....53

**2-СЕКЦИЯ****Абидов А.О., Адилов О.К., Джумабаев Ш.Ш., Артыкбаев М.Т.**

Методы расчета маслоуловителей  
 Май кыпкандарын эсеп алуунун методдору  
 Methods for calculation of oil traps.....62

**Абидов А.О., Адилов О.К., Мирзаев Д.У., Еtimiшев Р.И.**

Мероприятия по обеспечению безопасности и экологичности в сервисном центре  
 Тейлөө борборундагы коопсуздук жана экология боюнча иш-чаралар  
 Safety and environmental friendliness measures at the service center.....68

**Акназар уулу К., Ташполотов Ы.**

Численное моделирование и машинное обучение в прогнозировании свойств баритовых композитов: комплексный анализ  
 Барит композиттеринин касиеттерин болжолдоодо сандык моделдөө жана машиналык үйрөнүү ыкмаларын колдонуу: комплекстүү анализ  
 Numerical modeling and machine learning in predicting the properties of barite composites: a comprehensive analysis.....72

**Джиянбоев С.В., Нуритдинов А.А., Химматов Шохрух Анвар углы, Еtimiшев Р.И.**

Анализ научно-технологических показателей экологической безопасности  
 Айлана-чөйрө коопсуздугунун илимий-технологиялык көрсөткүчтөрүн талдоо  
 Analysis of scientific and technological indicators of environmental safety.....79

**Джапарова Ш., Саткулов Т. Т., Усарова С.О., Кушбаков Г. Т., Азизова А.К.**

Кыргызстандын кычкылданган күрөң көмүрүнөн жана табигый минералдардан жасалган байытылган органикалык гуминдүү жерсемирткич жана аны колдонуунун келечеги  
 Обогащенное органогуминовое удобрение из окисленного бурого угля и природных минералов Кыргызстана и перспективы его использования  
 Enriched organohumic fertilizer from oxidized brown coal and natural minerals of Kyrgyzstan and prospects for its use.....84

**Жапаркулов А. М.**

Жылуулук менен камсыздоо үчүн энергияны үнөмдөөчү суутектин негизиндеги автономдуу түзүлүштү иштеп чыгуу  
 Разработка и создание энергоэффективной автономной системы теплоснабжения на основе водородной энергии  
 Development and design of an energy-efficient autonomous heat supply system based on hydrogen energy.....96

**Оноркулов К.Е., Абдуллаева М. П., Юлдашев А.А., Жураева Г.Ф., Чынгызбек кызы Зыяда**

Деградация рабочих параметров тензочувствительных тонких плёнок теллурида свинца  
 Коргошунун теллуриддин штамба сезгич жука пленкаларынын иш параметрлеринин деградациясы  
 Degradation of operating parameters of lead telluride strain-sensitive thin films.....104

- Кенешов Б.М., Сарыбаева А.**  
Ferula conoposcula өсүмдүгүнүн терпеноиддик кумариндери  
Терпеноидные кумарины ferula conoposcula  
Terpenoids coumarines ferula conoposcula.....109
- Омурбекова Г.К.**  
Прогнозирование выхода полукокса методами машинного обучения на основе анализа сырьевых и технологических параметров  
Машиналык окутуу ыкмаларынын негизинде чийки жана технологиялык параметрлерди талдоо аркылуу жарым кокстун чыгуусун божомолдоо  
Prediction of semi-coke yield using machine learning methods based on the analysis of raw material and technological parameters.....115
- Омурбекова Г.К.**  
Компьютерное моделирование технологических процессов синтеза технического кремния с применением алгоритмов машинного обучения  
Кыргыз Республикасындагы кум кендеринин химиялык курамы жана гранулометриясынын негизинде кремнеземдин тазалыгын алдын ала болжолдоо үчүн машиналык окуу  
Machine learning for predicting silica purity based on the chemical composition and granulometry of sand in the Kyrgyz Republic.....122
- Орозбаева Ж.М.**  
Разработка состава и технологии микрокапсул селеноорганического соединения  
Селеноорганикалык кошулманын микрокапсуласынын курамын жана технологиясын иштеп чыгуу  
Development of the composition and technology of microcapsules of organoselenium compounds.....128
- Садыков Э.,Токтоназаров С.Т., Омуров Ж.К., Анарбай кызы С.**  
Создание устройства для получения полукокса  
Жарым коксту алуучу түзүлүштү түзүү  
Creation of a device for producing semi-coke.....136
- Сулейменова М.Ш., Джапарова Ш., Дауметова Салтанат Турмаганбет кызы, Жетенова М.С., Кушбакова Г. Т.**  
Разработка экологически безопасных биопрепаратов для сохранения устойчивости природных ресурсов  
Жаратылыш ресурстарынын туруктуулугун сактоо учун экологиялык коопсуз биологиялык препараттарды иштеп чыгуу  
Development of environmentally friendly biopreparations for preserving the sustainability of natural resources.....142
- Тажикбаева С.Т., Анарбай кызы Сажид**  
Пайдалуу кен байлыктарды казып алуунун айлана-чөйрөгө тийгизген таасиринин негизги көрсөткүчтөрүн статистикалык моделдештирүү жана баалоо  
Статистическое моделирование и оценка основных показателей воздействия на окружающую среду добычи полезных ископаемых  
Statistical modeling and assessment of the main indicators of the environmental impact of mineral resources extraction.....148
- Токоев А. А., Самидин кызы Рона, Кутпидин кызы Наргиза, Таирбек кыз Гулгаакы**  
О состоянии изученности флоры заповедника Кулун-Ата  
Кулун-Ата коругунун флорасынын билим абалы жөнүндө

On the state of knowledge of the flora of the Kulun-Ata nature reserve.....155

**Хегай И.В., Купсуралиева И.К., Курманбеков С.К.**

Опыт применения репеллентов для защиты яблонь от яблоневой плодожорки (*Cydia pomonella*) в Кыргызстане

Кыргызстанда алмачыл мөмө-жегич көпөлөктөн (*Cydia pomonella*) коргоо үчүн репелленттерди колдонуу тажрыйбасы

Experience of using repellents to protect apple trees from the codling moth (*Cydia pomonella*) in Kyrgyzstan.....163

**Шайдуллаев Р. Б., Омуров Ж. К., Токтоназаров С. Т.**

Разработка технологии для получения обогащенного топлива из низкосортных углей Төмөнкү сорттогу көмүрдөн жакшыртылган көмүрдү алуунун технологиясы

Development of technology for producing enhanced fuel from low-grade coals.....169

### 3-СЕКЦИЯ

**Абдуллаева М.Д., Боркочев Б.М., Салиева К.Т., Калыкова Г.С., Мирзараимова Г.**

Кыргызстандын керамикалык чийки затынын мүнөздөмөсү, касиеттери жана колдонулушу  
Характеристика, свойства и применение керамического сырья Кыргызстана

Characteristics, properties, and applications of ceramic raw materials in Kyrgyzstan.....177

**Алимгазин А.Ш., Шопаева А.А., Абдуллаева М.Д., Сулейменов К. Б.**

Интеграция систем утилизации сбросного тепла грЭС в коммунальную инфраструктуру: кейс горячего водоснабжения микрорайона «Усольский» г. Павлодар с применением тепловых насосов

Жылуулук электр станцияларынын экинчи даражадагы жылуулугун коммуналдык инфраструктурага интеграциялоо: Павлодар шаарындагы “Усольский” микрорайонунун ысык суу менен камсыздоо мисалы (жылуулук насосторун колдонуу аркылуу)

Integration of waste heat recovery systems of thermal power plants into urban infrastructure: case study of hot water supply for the “Usolsky” district of Pavlodar using heat pumps.....181

**Абдуразаков Н.Н., Абулова Н. Л., Мирзаахмедов М.К., Бекиева С.Э., Ш. Таджибаева Шарифахон Хушнудбек кызы., Алиев Р. У.**

Многодневный прогноз бытового электропотребления

Турмуш-тиричиликтин электр энергиясын керектөөнүн көп күндүк болжолу

Multiple-day forecast of residential power consumption.....188

**Адылова Э. С.**

Токтогул гидроэлектр станциясынын энергетикалык потенциалын моделдөө

Моделирование энергетического потенциала Токтогульской гидроэлектрической станции

Modeling the energy potential of the Toktogul hydroelectric power station.....196

**Алдашева Н. Т.**

Определение гранулометрического состава каменного угля Узгенского месторождения (Чангент)

Өзгөн кениндеги (Чангент) ташкөмүрдүн гранулометриялык курамын аныктоо

Determination of the granulometric composition of coal Uzgen deposit (Changent).....202

**Комилов М.М., Абулова Н.Л., Алиев Р. У., Алиев С.Р., Мавлянова Ж., Мирзаалимов Н.А., Темиров С.И.**

Улучшение оптических свойств двухстороннего солнечного элемента

- Эки тараптуу күн эллетациясынын оптикалык касиеттерин жакшыртуу  
Enhancing the optical properties of bifacial solar cell.....208
- Касимахунова А.М., Ли Юнь, Мамарасулов К. Ш.**  
Динамические процессы фотоэлектрических преобразователей энергии при импульсном освещении  
Импульстук жарыктандыруу шартындагы фотоэлектр энергия өзгөрткүчтөрүнүн динамикалык процесстери  
Dynamic processes of photoelectric energy converters under pulsed illumination.....213
- Қахқоров Ж. И., Эргашев С.Ф., Мирзаалимов АА., Рашидов Б.Д., Мирзаалимов Наврузбек Алишер угли, Таджикибаева Шарифахон Хушнудбек кызы, Мухабатхан Исмаилахун кызы**  
Андижандын климаттык шартында электр энергиясынын өндүрүшүнө эки тараптуу сезгичтүү фотоэлектрдик модулдарын жерге алуунунун таасири  
Влияние расположения двусторонней чувствительных фотоэлектрических модулей на производство электроэнергии в климатических условиях Андижана  
The impact of bifacial photovoltaic module orientation on electrical energy production under the climatic conditions of Andijan.....221
- Мирзаалимов Наврузбек Алишер угли, Алдашева Н.Т. , Алиев Р., Рашидов Б. Д., Мирзаалимов А.А., Қахқоров Ж.И., Мухабатхан Исмаилахун кызы, Комилов Муроджон Мухторжон угли**  
Разработка гибридной солнечно-ветровой микро-энергетической установки для городских улиц  
Шаардык көчөлөр үчүн гибридик күн-шамал микро энергетика системасын өнүктүрүү  
Hybrid solar-wind micro-energy systems in 3d format for city streets.....228
- Осконбаев М. Ч., Осмоналиев К., Сталбек кызы Айзат**  
Зодиакалдык жылдыздардын координаталарынын өзгөрүшүн астрономиялык тиркеме аркылуу аныктоо  
Определение изменений координат зодиакальных звезд с помощью астрономического приложения  
Determination of changes in the coordinates of zodiac stars using an astronomical application.....236
- Осконбаев М.Ч. , Хасанова Г.А., Ахмадалиев Б.Ж., Сиддиков Р.У., Сулаймонов Х.М., Юлдашев Н.Х.**  
Некоторые принципы создания пленочного тензодатчика накопления усталостных повреждений на основе твердого раствора  $(Bi_x Sb_{1-x})_2Te_3$   
 $(Bi_x Sb_{1-x})_2Te_3$  катуу эритмесинин негизинде чарчоо зыянын топтоо үчүн тензодатчик пленкасын түзүүнүн айрым принциптери  
Some principles of creating a film strain cell for accumulation of fatigue damage based on a solid solution  $(Bi_x Sb_{1-x})_2Te_3$  ..... 243
- Расаходжаев Б. С., Рихсибоев Ойбек Алишер угли, Ахмаджонов Усмонжон Зокиржон угли, Эрмекова З.К., Токонова Т.С., Абыразакова С.Б., Абсамат кызы Гулиза**  
Автономиялык энергетик комплекси менен күн күнөсканасынын энергетикалык натыйжалуулугун жогорулатуу  
Повышение энергоэффективности систем энергоснабжения солнечных теплиц с автономными энергокомплексными  
Increasing the energy efficiency of power supply systems for solar greenhouses with autonomous energy complex.....257

**Сатыбалдиев А.Б., Абдыракман уулу Кутманалы**

Ультразвуковая многоэлектродная электро-физическая ионизация для высокочистого извлечения благородных, базовых и редкоземельных металлов из техногенных хвостов Кыргызстана

Кыргызстандын техногендик калдыктарынан асыл, негизги жана сейрек кездешүүчү жер металлдарын жогорку тазалыкта бөлүп алуу үчүн ультраүндүк көп электроддуу электро-физикалык иондоштуруу

Ultrasonic multi-electrode electrophysical ionization for high-purity extraction of precious, base, and rare-earth metals from Kyrgyzstan's technogenic tailings.....264

**Ташиев Н.М., Абдырахман уулу Кутманаалы, Мужиева С.Г., Абулова Н.Л., Кулмурзаева К.А.**

Методы анализа экологических проблем при производстве и использовании видов электроэнергетики

Электр энергиясынын түрлөрүн өндүрүүдө жана колдонуудагы экологиялык көйгөлөрдү талдоонун жолдору

Methods for analyzing environmental problems in the production and use of electricity.....280

**4-СЕКЦИЯ****Калдыбаев Н.А., Жанибеков М.Ж., Курманали уулу Кубаныч, Жунусов А.Б.**

Разделка негабаритных блоков камня с помощью термитной смеси

Термит аралашмасы менен чоң көлөмдөгү таш блокторун бөлүү

Cutting of oversized stone blocks using thermite mixture.....287

**Аккулов А.У., Эрматова В.Б., Зулушова А.Т., Шамшиев Б.Н.**

Биорекультивация деградированных земель, пострадавших от оползневых процессов: первые опыты и результаты

Жер көчкү процесстеринен жабыркап, деградацияланган жерлерди биорекультивациялоо: алгачкы тажрыйбалар жана натыйжалар

Land avalanche of affected processes, bioreculture of degraded lands: early experiments and results.....293

**Аматов Ы.К., Култаева Акмарал К., Арстанова А.А., Матазова А.Б.**

Защита животных как фактор устойчивости экосистем

Жаныбарларды коргоо экосистеманын туруктуулугунун фактору катары

Animal protection as a factor of ecosystem sustainability.....299

**Караева З.У., Акылбек кызы Динара, Токтобекова Г.Ш., Убайдилла уулу Бектур**

Обоснование критериев и методов оценки риска при реализации проектов по добыче природного камня

Табигый таш казып алуу боюнча долбоорлорду ишке ашыруудагы тобокелдиктерди баалоо ыкмаларын жана критерийлерин негиздөө

Substantiation of criteria and methods of risk assessment in the implementation of natural stone mining projects.....305

**Караева З. У., Калдыбаев Н.А., Маткаликов А.М.**

Электронный сервис для автоматизированного сметного планирования горных работ в камнедобывающих карьерах

Таш казган карьерлердеги тоо-кен иштерин автоматташтырылган сметалык пландоо үчүн электрондук сервис

Electronic service for automated cost-effective planning of mining operations in stone-mining quarries.....311

**Мамасаидов М.Т., Исаев И. Э.**

К теории производства колотых изделий из камня: основные принципы, рекомендуемые модели и стратегии развития

Таштан жарылган буюмдарды өндүрүү теориясы: негизги принциптер, өнүктүрүүнүн сунушталган моделдери жана стратегиялары

Theory of production of split stone products: basic principles, recommended development models and strategies.....316

**Калдыбаев Н.А., Дуванакулов М.А., Панфиленко Т.Г., Жунусалиева А.К.**

Методические основы мониторинга добычи песчано-гравийной смеси в поймах рек

Дарыя нуктарында кум-шагыл аралашмасын казып алууну көзөмөлдөөнүн методикалык негиздери

Methodological foundations of monitoring the extraction of sand-gravel mixture in flood-plains.....321

**Сопубеков Н.А., Сыдыкова Н.А., Жусуева Т.С.**

Интеллектуальные системы обработки данных в геологии и разведке полезных ископаемых

Геологияда жана пайдалуу кендерди чалгындоодо маалыматтык иштеп чыгуунун интеллектуалдык системалары

In geology and mineral exploration, intelligent methods of information processing systems.....326

**Сопубеков Н.А., Зулпукаров Ж.А., Эркинбаева Н. А.**

Геоинформационные системы и математическая статистика для анализа пространственных данных в экологии и географии

Экология жана географиядагы мейкиндик маалыматтарын талдоо үчүн геомаалыматтык тутумдар жана математикалык статистика

Geoinformation systems and mathematical statistics for spatial data analysis in ecology and geography.....333

**5-СЕКЦИЯ****Абдалиев У. К., Урмат кызы Жылдыз**

Текущее состояние подготовки кадров в области научных и инновационных технологий в высших учебных заведениях Кыргызстана

Кыргызстандын жогорку окуу жайларында илимий инновациялык технологиялар багытында кадрларды даярдоонун учурдагы абалы

The current state of training specialists in scientific and innovative technologies in Kyrgyzstan's higher education institutions.....340

**Адилов О. К., Абдукаримов Ш.О., Джакыпжанова В.С., Базарбаев Б. Р.**

Анализ устойчивости транспортных систем в муниципальных образованиях заминских санаторий

Заминск санаторияларындагы транспорт системаларынын туруктуулугун талдоо

Analysis of the sustainability of transport systems in the municipalities of zaminsk sanatoriums.....345

**Аттокуров У. Т., Азимова А.А.**

Влияние рейтингов на качество и доступность высшего образования

Рейтингдердин жогорку билимдин сапатына жана жеткиликтүүлүгүнө тийгизген таасири

The impact of rankings on the quality and accessibility of higher education.....351

**Касымалиев Б.М., Шайдуллаев Р.Б., Кулмурзаев Н.М.**

Состояние дорожного движения в городе ош и направления его совершенствования

Ош шаарындагы жол кыймылынын учурдагы абалы жана аны жакшыртуу багыттары

The current state of road traffic in the city of osh and ways to improve it.....362

**Осекова Г.А., Токторбаева Г.П.**

Динамика газовых компонентов при термическом разложении в процессе пиролиза Чангента уголя из Узгенского угольного бассейна и кыргызского (грецкого) уголя

Өзгөн көмүр бассейнинин Чангент көмүрүнүн жана кыргыз (грек) жангак көмүрүнүн пиролиз процессиндеги термикалык ажыроо учурундагы газ компоненттеринин динамикасы

Dynamics of gas components during the thermal decomposition process in the pyrolysis of CHangent coal from the Uzgen coal basin and kyrgyz (walnut) coal.....370

**Сабиров Б.З., Джапарова Ш., Азизова А. К.**

Исследование сухого обогащения углей Кара-Добо и влияние фракционного состава на обогатимость

Кара-Дөбө көмүрлөрүн кургак байытуу жана фракциялык курамдын байытууга тийгизген таасирин изилдөө.

Study of dry beneficiation of Kara-Dobo coals and the influence of fractional composition on enrichment.....375

**Ташполотов Ы., Тажикбаева С.Т.**

Цифровая трансформация производства угольно-водяных суспензий: алгоритмы и инновации

Суу - көмүр суспензиясын өндүрүүнүн цифралык трансформациясы: алгоритмдер жана инновациялар

Digital transformation of coal-water suspension production: algorithms and innovations.....383

# 1-СЕКЦИЯ

УДК: 621.313.322.

**Акматов Баатыр Жороевич,**  
*кандидат технических наук*  
**Асанова Канымгул Асановна,**  
*инженер*  
**Дурсунбай кызы Сонунбубу,**  
*инженер*

### О РАВЕНСТВЕ ВЕЛИЧИН ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ, ВЫДЕЛЕННОЙ ВОДОЙ

**Акматов Баатыр Жороевич,**  
*техника илимдеринин кандидаты*  
**Асанова Канымгул Асановна,**  
*инженер*  
**Дурсунбай кызы Сонунбүбү,**  
*инженер*

### СУУДАН БӨЛҮНГӨН ЭНЕРГИЯНЫН ЧОНДУКТАРЫНЫН БАРАБАРДЫГЫ ЖӨНҮНДӨ

**Akmatov Baatyr Zhoroevich,**  
*Candidate of Technical Sciences*  
**Asanova Kanymgyl Asanovna,**  
*engineer*  
**Dursunbay kyzy Sonunbubu,**  
*engineer*

### ON THE EQUALITY OF THE VALUES OF THERMAL ENERGY RELEASED BY WATER

*Институт природных ресурсов им. А.С. Джаманбаева ЮО НАН КР ПКР,  
Ош, Кыргызская Республика*

*КРП КР УИА ТБ А.С. Джаманбаев ат. Жаратылыш байлыктары институту,  
Ош, Кыргыз Республикасы*

*Institute of Natural resources named after A.S. Dzhamanbayev SB NAS KR PKR,  
Osh, Kyrgyzstan*

**Аннотация.** В данной статье рассматривается тепло, вырабатываемое различными методами нагрева воды. Образование осадка (накипа) при нагревании воды подтверждает существование процесса ионизации в воде. В результате движение молекул воды усиливается. Установлено, что в устройствах, эффективно вырабатывающих тепловую энергию в воде (вихревом теплогенераторе, ковитационном устройстве и генераторе «ЭФИ»), и при нагреве воды возможно равновесие величин тепловой энергии, получаемой в воде, от энергии, передаваемой извне.

**Ключевые слова:** переменный, электрический ток, ионизация, мощность, напряжение, энергия, теплота.

**Аннотация.** Аталган статъяда сууну ысытууда пайдаланылган ар түрдүү ыкмаларда алынган жылуулукка карата басым жасалды. Суунун ысышында маңырдын (накип) пайда болушу сууда иондошуу процессинин болушун тастыктайт. Анын натыйжасында суунун молекулаларынын кыймылы жогорулайт. Сууда эффективдүү алынган жылуулук энергияны өндүрүүчү түзүлүштөрдө (куюндуу жылуулук генератордо, ковитациялык түзүлүштө жана

«ЭФИ» генератордо) жана сууну ысытууда сырттан берилген энергиядан, сууда алынган жылуулук энергиянын чоңдуктарынын теңдештигинин болушунун мүмкүндүгү белгиленди.

**Ачкыч сөздөр:** өзгөрүлмөлү, электр тогу, иондошуу, кубаттуулук, чыңалуу, энергия, жылуулук.

**Annotation.** This article discusses the heat generated by various methods of heating water. The formation of sediment (scale) during heating of water confirms the existence of the ionization process in water. As a result, the movement of water molecules increases. It has been established that in devices that efficiently generate thermal energy in water (a vortex heat generator, a gravity device and an EFI generator), and when heating water, it is possible to balance the values of thermal energy received in water from energy transmitted from the outside.

**Keywords:** variable, electric current, ionization, power, voltage, energy, heat,

### Киришүү

Ушул убакка чейин электр энергиясын пайдаланып сууну ысытуунун Джоуль-Ленц закону бар экендиги белгилүү. Ал закондун негизинде электр жылыткычтарды пайдаланып сууну ысытканда суунун ысышы анда пайдаланылган электр энергиянын чоңдугунчалык энергияга гана жогорулайт жана андан ашпайт деп белгиленет [1].

Бирок сууну ысытуунун мындан башка да жолдору бар. Алсак:

- кавитация;
- КЖГ (Вихревой теплогенератор);
- генератор А. России;
- «ЭФИ» генератору ж.б.у.с..

1. *Жылуулук энергиясын кавитациялык түзүлүштө алуу.*

Кавитациялык жылыткычтардын иштөө принцибинде насос- компрессор 5-10МПа басым астында ички диаметри 5-10 мм болгон 50-100 жарыш жайгашкан түтүктөр аркылуу 90-100 м/сек ылдамдыкта агуусу керек. Суу андан соң ысыткыч – камерага келет, мында 5- 10 МПа басымда кавитациялык көбүкчөлөр добуш чыгарат жана сууну температурасын 100°C- 150°C чейин ысытып же андан да жогору болушу мүмкүн. Кавитациялык көбүкчөлөрдү жаратууда 5- 6 кПа басым талап кылынат, ал үчүн 3 кВт кубаттуулуктагы электр насосу керектелинет [2].

2. *А. Потаповдун куюндуу жылуулук генератору.*

Куюндуу жылуулук генератордун эффективдүүлүгү, баардык электрдик же ядердик жылуулук энергия булактарынан жогору экендиги белгилүү. Куюндуу кыймылдаткычтын эффективдүүлүгү 97% чейин жетип, тескерисинче ИКК эффективдүүлүгү 40%, атомдук станцияда - 34%, күн батареякаларда -12%.

Куюндуу жылуулук генератору (КЖГ) (Вихревой теплогенератор (ВТГ)) сууда иштейт жана электр энергиясын жылуулукка айландыруу үчүн арналган, 90- жылдардын башында иштелип чыгылган [3, 4, 5].

Биринчи муундагы КЖГ (ВТГ) до электр энергиясын жылуулукка айландыруунун коэффициенти 1,2 (ПАК 120% кем эмес) кем эмес болгон. Бул көрсөткүч ошол убактагы жылытуу тармагынын ПАК ен 40%- 80% жогору болгондугун билдирет.

Мисалы, «Сименс» фирманын буугаздык трубинанын эффективдүүлүгү 58% ке жакын. Россиядагы жылуулук электрборбору – 55%, ал эми жылуулук трассадагы жоготууларды эске алганда эффективдүүлүгү дагы 10- 15% ке төмөндөйт.

КЖГ (ВТГ) түзүлүштө электроэнергия сууну айдоо үчүн электронасоско гана керектелинет, ал эми суу кошумча жылуулук энергиясын бөлүп чыгарат. Ар бир молекула 0,24 – 0,50 эВ энергия берет.

Илимий- ишке киргизүү мекеме «Ангстрем» (Тверь шары) биринчи муундагы КЖГ негиз кылып алды. Анын ПАК ти 120% жеткен [6]. Ал эми 7-чи муундагы жылуулук генератордун ПАК 220%. Мындай жылуулук кыймылдаткычтар «Сверхъединичными» деп аталары белгилүү [7, 8].

3. *“ЭФИ” жылуулук генераторунда суунун ысышы*

Суунун электрофизикалык иондошуусунун натыйжасында суунун ысышын анализдеп, суунун ысышы анын температурасынан көз каранды болоору аныкталган. Демек, суунун аталган процессте ысышы ошол суунун **вязкость** параметринен көз каранды экендиги белгиленген. Ал эми суунун вязкость коэффициенти канчалык кичине болсо (сырттан берилген электр энергия-

нын кубаттуулугу өзгөрбөгөн чекте), анда ал суунун молекулалары ошончолук тез кыймылга келерин түшүнүүгө болот. Сууну ЭФИ процессинде ысытууда мына ушул айырмачылык экспериментте аныкталган б.а. сууну ысытууда 20°C дан 30°C болгонго чейин ысытканга караганда 40°C дан 50°C га чейин ысытканда (сырттан берилген электр энергиянын кубаттуулугу өзгөрбөгөн учурда) суу тезирээк ысышы керек болуучу (суунун вязкость коэффициентин эске алганда да). Сууну ЭФИ процессинде ысытууда ушул корунуш орун алат [9].

Ковитациялык, КЖГ (ВТГ) жана «ЭФИ» жылуулук генератордук түзүлүштөрдө сууда алынган жылуулук энергиянын чоңдуктары теңдеш. Анткени ал чоңдук иондошууга душар болгон суунун молекуласынын санына байланыштуу болоору анык.

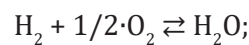
Мындан тышкары, молекулалардын иондошуу потенциалына карата, эксперименталдык маалыматтарга ылайык, алар тиешелүү атомдордун иондошуу потенциалына караганда бир аз (адатта 2-3 вольт) көбүрөөк болот деп айтууга негиз бар. Анткени бул табигый нерсе, ошондуктан аны төмөнкүдөн да байкоого болот.

Энергиянын сакталуу законуна ылайык молекуланын  $I_m$  жана атомдун  $I$  иондошуу потенциалдарында, ошондой эле тиешелүү түрдө молекуланын диссоциациядагы  $D$  жана молекулалык иондошуудагы  $D_n$  жылуу-

луктардын ортосунда төмөнкүдөй байланыш орун алат

$$eI_m = eI + (D - D_n).$$

Анткени нейталдуу молекуланын диссоциация энергиясы, иондук молекуланын диссоциация энергиясынан чоң болоору чындык, бул фактыдан акырында валенттик электрондордун бирдигине аз болот б.а. бекем байланыш ошончолукка аз болот. Ошондуктан  $D - D_n$  айырмасы нөлдөн чоң болуш керек, демек  $I_m > I$  барабарсыздыгы орун алат. Мындан тышкары төмөнкүнү да эске алуу зарыл [10].



$$|\Delta U_x| = |\Delta G| = 237,190 \text{ кДж/моль} \cdot H_2;$$

$$\Delta \bar{H}_\phi = \Delta H - \Delta G = 285,972 - 237,190 = 48,782$$

кДж/моль  $\cdot H_2$ .

Жогорудагылардын негизинде алынган **Тыянак**

1. Ковитациялык, КЖГ (ВТГ) жана «ЭФИ» жылуулук генератордук түзүлүштөр аркылуу сууда жылуулук энергияны жаратуунун принциби бирдей.

2. Аталган түзүлүштөр аркылуу сууда алынган жылуулук энергиянын чоңдуктары негизинен теңдеш. Анткени ал чоңдук иондошууга душар болгон суунун молекуласынын санына байланыштуу болоору анык.

### Пайдаланылган адабияттар:

1. **Яворский, Б. М.** Справочник по физике [Текст]/ Б. М. Яворский, А. А. Детлаф. –М.: Наука, 1979. -636с.
2. **Федоткин, И. М.** Кавитация, кавитационная техника и технология, их использование в промышленности (теория, расчёты и конструкции кавитационных аппаратов) [Текст]: Ч.1/ И. М. Федоткин, И. С. Гулый. - К.: Полиграфкнига, 1997. — 940 с.
3. **Шаубергер, В.** Теплогенератор [Электронный ресурс], -Режим доступа: <http://khd2.narod.ru/shau/hps 3.jpg> (дата обращения: 19.06.2015 г.).
4. **Халатов, А. А.** Результаты испытаний вихревого теплогенератора ТПМ 5,5–1 [Текст]/ А. А. Халатов, А. С. Коваленко, С. В. Шевцов// - М.: Журнал «Новости теплоснабжения», 2007. -№8 (84) -С. 18-21. –Режим доступа: [http://www.rosteplo.ru/Tech\\_stat/stat\\_shablon.php?id=1937](http://www.rosteplo.ru/Tech_stat/stat_shablon.php?id=1937) (дата обращения: 09.04.2015 г.).
5. **Потапов, Ю. С.** Вихревая энергетика и холодный ядерный синтез с позиции теории движения [Текст]/ Ю. С. Потапов, Л. П. Фоминский. Издательство «ОКО- Плюс», Кишинев-Черкассы, 2000. -160 с.
6. **Арсентьева, Евгения** Экземпляр домашнего генератора Шаубергера [Электронный ресурс], -Режим доступа: [http://evg-ars.narod.ru/new\\_page 1.htm](http://evg-ars.narod.ru/new_page 1.htm) (дата обращения: 12.02.2015 г.).

7. **Потапов, Ю. С.** Энергия вращения [Текст]/ Ю. С. Потапов, Л. П. Фоминский, С. Ю. Потапов. – Кишинев, 2001. – 400 с.
8. **Козлов, С. В.** Могут ли теплогенераторы быть «сверхъединичными»? [Электронный ресурс], - Режим доступа: [http://www.rosteplo.ru/Tech\\_stat/stat\\_shablon.php?id=2264](http://www.rosteplo.ru/Tech_stat/stat_shablon.php?id=2264) (дата обращения: 02.03.2016 г.).
9. **Акматов, Б. Ж.** The dependence of the coefficient of performance (COP) of the heating installation “electro physical ionization” on the initial temperature of the coolant [Текст]// В.И. Акматов, N.T. Aldasheva, B.S. Shildebaev, J.O. Kluev, M. Elshieva/ - SCOPS.<https://aseestant.ceon.rs/index.php/jaes/article/view/30997>
10. **Буйнов, Г. Н.** Теплоэлектролизный инверсер- альтернатива ядерному реактору [Текст]/ Г.Н. Буйнов// Научный журнал «ЖРФМ», 1995. № 1, -с. 150.

УДК: 621.362.2 (621.315.592)

**Атажонов Мухиддин Одилжонович<sup>1</sup>,**  
*доцент кафедры альтернативных источников энергии*  
**Абдуллаева Миргүл Пазылбековна<sup>2</sup>,**  
*ученый секретарь Института природных ресурсов*  
*им. А.С. Джаманбаева ЮО НАН КР ПКР*  
**Чынгызбек кызы Зыяда<sup>3</sup>,**  
*преподаватель*

**ВЫБОР И ОПТИМИЗАЦИЯ КОНТАКТНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ГИБРИДНОЙ СИСТЕМЫ, СОСТОЯЩЕЙ ИЗ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЯЧЕЙКИ НА ОСНОВЕ ИТО И ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО МОДУЛЯ  $\text{Bi}_2\text{Te}_3/\text{Sb}_2\text{Te}_3$ .**

**Атажонов Мухиддин Одилжонович<sup>1</sup>,**  
*Альтернативдик энергия булактары кафедрасынын доценти*  
**Абдуллаева Миргүл Пазылбековна<sup>2</sup>,**  
*КРП КР УИА ТБ А.С. Джаманбаев ат.*  
*Жаратылыш байлыктары институтунун окумуштуу катчысы*  
**Чынгызбек кызы Зыяда<sup>3</sup>,**  
*окутуучу*

**$\text{Bi}_2\text{Te}_3/\text{Sb}_2\text{Te}_3$  ТЕРМОЭЛЕКТРИК МОДУЛДАРДАН ЖАНА ИТО НЕГИЗИНДЕГИ ФОТОЭЛЕКТРИК ЯЧЕЙКАЛАРДАН ТУРГАН ГИБРИДНИК СИСТЕМА ҮЧҮН БАЙЛАНЫШ МАТЕРИАЛДАРЫН ТАНДОО ЖАНА ОПТИМАЛДАШТЫРУУ**

**Atajonov Muhiddin Odiljonovich<sup>1</sup>,**  
*Associate Professor of the Department of Alternative Energy Sources*  
**Abdullaeva Mirgul Pazyzbekovna<sup>2</sup>,**  
*Scientific secretary of the Institute of Natural resources named after A.S. Dzhamanbayev SB NAS KR PKR*  
**Chyngyzbek kyzy Zyiada<sup>3</sup>,**  
*lecturer*

**SELECTION AND OPTIMIZATION OF CONTACT MATERIALS FOR A HYBRID SYSTEM COMPRISING AN ITO BASED PHOTOVOLTAIC CELL AND A  $\text{Bi}_2\text{Te}_3/\text{Sb}_2\text{Te}_3$  THERMOELECTRIC MODULE**

<sup>1</sup>Андижанский государственный технический институт, Андижан, Республика Узбекистан

<sup>2</sup>Институт природных ресурсов им. А.С. Джаманбаева ЮО НАН КР ПКР,  
 Ош, Кыргызская Республика

<sup>3</sup>Ошский технологический университет им. М.М. Адышева, Ош, Кыргызская Республика

<sup>1</sup>Андижан мамлекеттик техникалык институту, Андижан, Узбекистан Республикасы

<sup>2</sup>КРП КР УИА ТБ А.С. Джаманбаев ат. Жаратылыш байлыктары институту,  
 Ош, Кыргыз Республикасы

<sup>3</sup> М.М. Адышев ат. Ош технологиялык университети, Ош, Кыргыз Республикасы

<sup>1</sup>Andijan State Technical Institute, Andijan, Uzbekistan

<sup>2</sup> Institute of Natural resources named after A.S. Dzhamanbayev SB NAS KR PKR,  
 Osh, Kyrgyz Republik

<sup>3</sup> Osh Technological University named after M.M. Adyshev,  
 Osh, Kyrgyz Republik

**Аннотация.** В данном исследовании представлен подробный анализ выбора и оптимизации контактных и межслойных материалов для гибридной системы преобразования энергии, которая сочетает в себе фотоэлектрическую (PV) ячейку на основе оксида индия и олова

(ITO) с термоэлектрическим (TE) модулем, изготовленным из  $\text{Bi}_2\text{Te}_3/\text{Sb}_2\text{Te}_3$ . Основная цель состоит в повышении общей энергоэффективности гибридной структуры за счет снижения контактного сопротивления, улучшения теплопередачи и обеспечения долгосрочной надежности в условиях термоциклирования. Для оценки многослойных контактных конфигураций, таких как Ni/Au, Ti/Ni/Cu и Cr/Ag, в исследовании были использованы реалистичные экспериментальные параметры, а также керамические прослойки, состоящие из нитрида алюминия (AlN) и оксида алюминия ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ). Результаты показывают, что хорошо спроектированные контактные слои могут значительно минимизировать межфазные потери и тепловое несоответствие, достигая сопротивления контакта всего  $1.2 \times 10^{-6} \Omega \cdot \text{cm}^2$ , при этом сохраняя стабильную производительность после 500 тепловых циклов. Кроме того, гибридная система PV-TE продемонстрировала заметное улучшение общей эффективности преобразования энергии, достигнув примерно 9,1 %, что подчеркивает синергетический вклад как фотоэлектрических, так и термоэлектрических компонентов. В целом, эта работа предоставляет практические рекомендации по проектированию, которые могут послужить ориентиром для будущей разработки интегрированных гибридных устройств для сбора энергии PV-TE.

**Ключевые слова:** сопротивление электрического контакта; (ITO);  $\text{Bi}_2\text{Te}_3/\text{Sb}_2\text{Te}_3$ ; межслойная инженерия; (AlN); ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ); тепловые характеристики интерфейса; испытания на надежность и стабильность; эффективность преобразования энергии.

**Аннотация.** Бул изилдөө индий калай кычкылынын (ITO) фотоэлектрдик (PV) клеткасын  $\text{Bi}_2\text{Te}_3/\text{Sb}_2\text{Te}_3$  термоэлектрдик (TE) модулу менен айкалыштырган гибридик энергияны конверсиялоо системасы үчүн контакттык жана катмар аралык материалдарды тандоо жана оптималдаштыруунун деталдуу анализин сунуштайт. Негизги максат гибридик структуранын жалпы энергетикалык натыйжалуулугун контакт каршылыгын азайтуу, жылуулук өткөрүүнү жакшыртуу жана жылуулук циклинин шарттарында узак мөөнөттүү ишенимдүүлүгүн камсыз кылуу болуп саналат. Ni/Au, Ti/Ni/Cu жана Cr/Ag сыяктуу көп катмарлуу контакт конфигурацияларын, ошондой эле алюминий нитриди (AlN) жана алюминий кычкылынан ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) турган керамикалык аралык катмарларды баалоо үчүн реалдуу эксперименттик параметрлер колдонулган. Натыйжалар жакшы иштелип чыккан контакт катмарлары 500 жылуулук циклинен кийин туруктуу иштөөнү сактап,  $1,2 \times 10^{-6} \Omega \cdot \text{cm}^2$  чейин төмөн контакт каршылыктарына жетишип, фаза аралык жоготууларды жана термикалык дал келбестигин кыйла азайта аларын көрсөтүп турат. Андан тышкары, PV-TE гибридик системасы жалпы энергияны конверсиялоонун натыйжалуулугун олуттуу жакшыртууну көрсөтүп, болжол менен 9,1%га жетип, фотоэлектрдик жана термоэлектрдик компоненттердин синергетикалык салымдарын баса белгиледи. Жалпысынан алганда, бул иш интеграцияланган PV-TE гибридик энергия жыйноочу түзүлүштөрдү келечекте өнүктүрүүгө багыт бере турган практикалык долбоорлоо сунуштарын берет.

**Негизги сөздөр:** электр контакттарына каршылык; (ITO);  $\text{Bi}_2\text{Te}_3/\text{Sb}_2\text{Te}_3$ ; катмар аралык инженерия; (AlN); ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ); Жылуулук интерфейсинин иштеши; ишенимдүүлүк жана туруктуулук сыноо; Кубаттын конверсиясынын эффективдүүлүгү.

**Abstract.** This study presents a detailed analysis of the selection and optimization of contact and interlayer materials for a hybrid energy conversion system that combines an indium tin oxide (ITO)-based photovoltaic (PV) cell with a thermoelectric (TE) module made of  $\text{Bi}_2\text{Te}_3/\text{Sb}_2\text{Te}_3$ . The main objective is to improve the overall energy efficiency of the hybrid structure by reducing contact resistance, enhancing heat transfer, and ensuring long-term reliability under thermal cycling conditions. To evaluate multilayer contact configurations such as Ni/Au, Ti/Ni/Cu, and Cr/Ag, the study employed realistic experimental parameters, along with ceramic interlayers composed of aluminum nitride (AlN) and aluminum oxide ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ). The findings indicate that well-designed contact stacks can significantly minimize interfacial losses and thermal mismatch, achieving contact resistances as low as  $1.2 \times 10^{-6} \Omega \cdot \text{cm}^2$ , while maintaining stable performance after 500 thermal cycles. Moreover, the hybrid PV-TE system demonstrated a notable improvement in total energy conversion efficiency, reaching approximately 9.1%, highlighting the synergistic contribution of both photovoltaic and thermoelectric components. Overall, this work provides practical design recommendations that

can guide the future development of integrated PV-TE hybrid energy harvesting devices.

**Keywords:** electrical contact resistance; (ITO);  $\text{Bi}_2\text{Te}_3/\text{Sb}_2\text{Te}_3$ ; interlayer engineering; (AlN); ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ); thermal interface performance; reliability and stability testing; energy conversion efficiency.

## 1. INTRODUCTION

The rising global demand for clean and sustainable energy has accelerated the development of advanced energy conversion technologies designed to make the most of available solar power. One of the most effective approaches is the creation of **hybrid systems** that combine **photovoltaic (PV)** and **thermoelectric (TE)** components. In these systems, the photovoltaic cell converts sunlight directly into electricity, while the thermoelectric module captures and transforms the leftover heat into additional electrical energy. This dual process not only utilizes solar energy more completely but also significantly improves the overall conversion efficiency of the system (Li et al., 2023).

The performance of a **hybrid PV-TE system** largely depends on the quality of the interface connecting its two subsystems. The **electrical contacts and interlayer materials are crucial components that help minimize energy losses, enhance heat transfer, and maintain mechanical stability during long-term operation**. In particular, transparent conductive oxides (TCOs)—such as indium tin oxide (ITO)—are widely used in photovoltaic devices because of their **high optical transmittance (85–95%) and low sheet resistance (10–50  $\Omega/\text{sq}$ )**, which together ensure efficient light absorption and charge collection (Kim & Lee, 2021). Meanwhile, thermoelectric materials based on bismuth telluride ( $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ ) and antimony telluride ( $\text{Sb}_2\text{Te}_3$ ) continue to be the most effective candidates for near-room-temperature applications, owing to their high Seebeck coefficients and low thermal conductivity (Wang et al., 2022).

However, directly integrating ITO-based photovoltaic (PV) cells with  $\text{Bi}_2\text{Te}_3/\text{Sb}_2\text{Te}_3$  thermoelectric (TE) modules presents several significant challenges. Differences in thermal expansion coefficients, insufficient adhesion strength, and metal interdiffusion can cause contact degradation, leading to higher series resistance and gradual losses in power output over time (Chen & Yang, 2023). To address these issues, careful selection of contact stacks and interlayer materials—such as Ni/Au, Ti/

Ni/Cu, and ceramic layers like AlN or  $\text{Al}_2\text{O}_3$ —is essential to achieve efficient electrical coupling, stable thermal management, and reliable device performance (Wang et al., 2020).

The primary objective of this study is to establish experimental and design guidelines for creating robust PV-TE hybrid systems. By integrating electrical, thermal, and mechanical performance parameters, this research identifies optimal combinations of contact and interlayer materials that minimize contact resistivity ( $\rho_c \leq 10^{-6} \Omega \cdot \text{cm}^2$ ), enhance thermal conductivity ( $K_{\text{AlN}} \approx 180 \text{ W/m} \cdot \text{K}$ ), and ensure long-term stability under repeated temperature cycles (from  $-40^\circ\text{C}$  to  $+85^\circ\text{C}$ ). The findings contribute to the advancement of next-generation hybrid energy devices, offering a promising route to overcome the limitations of conventional solar technologies and supporting the transition toward more sustainable and efficient energy systems.

## 2. METHODOLOGY

The methodology of this study combines theoretical modeling with experimental validation to identify the most effective configurations of contact and interlayer materials in a hybrid photovoltaic–thermoelectric (PV-TE) energy conversion system. A series of carefully designed experiments were conducted to assess the electrical, thermal, and mechanical compatibility of various material combinations under realistic operating conditions, ensuring the results reflect actual performance behavior.

### 2.1 Structural Design of the Hybrid PV-TE System

The proposed hybrid device integrates a transparent photovoltaic (PV) cell with an indium tin oxide (ITO) electrode that is thermally bonded to a  $\text{Bi}_2\text{Te}_3/\text{Sb}_2\text{Te}_3$  thermoelectric (TE) module through a ceramic interlayer (Fig. 1). In this configuration, the PV cell converts incoming sunlight into electrical energy, while the TE module utilizes the remaining heat to produce additional power via the Seebeck effect. To achieve efficient and stable energy transfer, the interface between the PV and TE components was carefully optimized using a range of metallic (Ag, Ni/Au) and ceramic (AlN,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) contact materials.

The structural composition of the hybrid circuit can be represented as:

Glass / ITO / (Ag or Ni/Au) / Active Layer / Back Contact / AlN or Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> / Bi<sub>2</sub>Te<sub>3</sub>-Sb<sub>2</sub>Te<sub>3</sub>

The incorporation of AlN or Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ceramics ensures high thermal conductivity while maintaining excellent electrical insulation, which helps reduce thermal stress and prevents short-circuiting at the junction between the photovoltaic and thermoelectric elements. This design approach allows the hybrid system to operate efficiently, reliably, and with improved long-term stability.

### 2.2 Electrical Characterization

Electrical testing was conducted to evaluate the contact resistivity ( $\rho_c$ ) and sheet resistance (Rs) of different contact stacks. Measurements were performed under standard ambient condi-

tions using the Transfer Length Method (TLM) and the four-point probe technique.

The contact resistivity was calculated using the equation:

$$\rho_c = R_c \times A$$

where  $R_c$  is the contact resistance and (A) is the contact area.

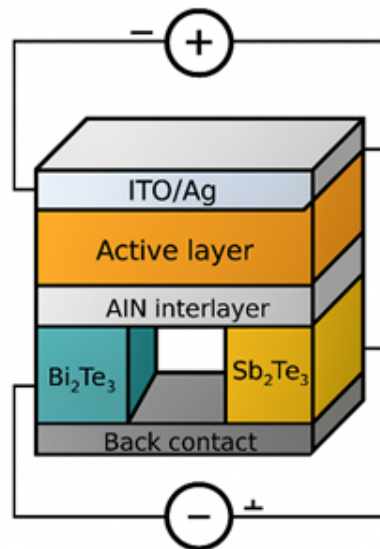
Target values for the hybrid interfaces were established as:

PV (ITO-based contact):  $\rho_{c,PV} \leq 10^{-5} \Omega \cdot \text{cm}^2$

TE (Bi<sub>2</sub>Te<sub>3</sub>/Sb<sub>2</sub>Te<sub>3</sub>):  $\rho_{c,TE} \leq 10^{-6} \Omega \cdot \text{cm}^2$

Additionally, the **fill factor (FF)** and **power conversion efficiency (PCE)** were derived from **current-voltage (J-V)** measurements taken under **AM 1.5G solar illumination** using:

$$FF = \frac{J_{mp} \times V_{mp}}{J_{sc} \times V_{oc}}, \eta_{PV} = \frac{J_{sc} \times V_{oc} \times FF}{P_{in}}$$



**Figure 1.** Schematic illustration of the hybrid PV-TE architecture showing ITO/Ag front contact, AlN interlayer, and Bi<sub>2</sub>Te<sub>3</sub>/Sb<sub>2</sub>Te<sub>3</sub> thermo-electric legs.

### 2.3. Thermal and Mechanical Testing

Thermal interface characterization was conducted using the **Laser Flash Analysis (LFA)** method to measure interfacial thermal conductance ( $h_c$ ) and ceramic layer conductivity (k). The target thermal conductance for effective coupling was:

$$h_c > 5 \times 10^4 \text{ W/m}^2 \times \text{K}$$

The results showed that AlN ceramics ex-

hibited a thermal conductivity of approximately  $k_{AlN} \approx 180 \text{ W/m} \cdot \text{K}$ , while Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> **ceramics** had a lower conductivity of about

$$k_{Al_2O_3} \approx 28 \text{ W/m} \times \text{K}$$

Mechanical reliability was assessed through **SEM/EDS cross-sectional analysis** and **shear-strength tests**. To simulate real-world operational stress, the samples underwent **accelerated thermal cycling** between -40 °C and +85

°C (500 cycles) and **damp-heat testing** at 85 °C and 85% relative humidity. These experiments helped identify diffusion effects, delamination risks, and long-term interface degradation.

#### 1.4. Numerical Modeling and Simulation

A **finite element simulation** was carried out using **COMSOL Multiphysics** to analyze the coupled **electrical and thermal transport phenomena** across the PV-TE interface. The model included:

The **distribution of electrical potential and current density**  $J(x, y, z)$ ;

The temperature gradient ( $\Delta T$ ) across the ceramic interlayer

Seebeck voltage contribution, expressed as:

$$V_{TE} = \alpha \times \Delta T \times N$$

For the  $\text{Bi}_2\text{Te}_3/\text{Sb}_2\text{Te}_3$  module with ( $N = 127$ ) thermoelectric couples and ( $\alpha_N = 0.0254$  V/K), the expected thermoelectric output was calculated as:

$$V_{TE} = 0.0254$$

This modeling allowed correlation between experimental data and theoretical energy con-

version efficiency, confirming the synergy of PV and TE components in the hybrid system.

#### 2.5. Data Processing and Validation

All experimental and simulated data were analyzed using **MATLAB** and **OriginPro** software. The reliability of results was confirmed through **repeatability analysis** and **cross-correlation** between electrical and thermal measurements. The overall error margin was maintained below  $\pm 5\%$  for all reported data.

### 3. RESULTS AND DISCUSSION

#### 3.1 Electrical Characteristics of Contact Materials

Figure 2 compares the current-voltage ( $J$ - $V$ ) characteristics of the fullerene-only and fullerene-graphene hybrid photovoltaic devices. Under standard illumination (AM 1.5G, 25°C), the hybrid device demonstrated higher values of short-circuit current density ( $J_{sc} = 18.2 \text{ mA/cm}^2$ ) and open-circuit voltage ( $V_{oc} = 0.74 \text{ V}$ ) compared to the fullerene-only device ( $J_{sc} = 14.6 \text{ mA/cm}^2$ ,  $V_{oc} = 0.68 \text{ V}$ ).

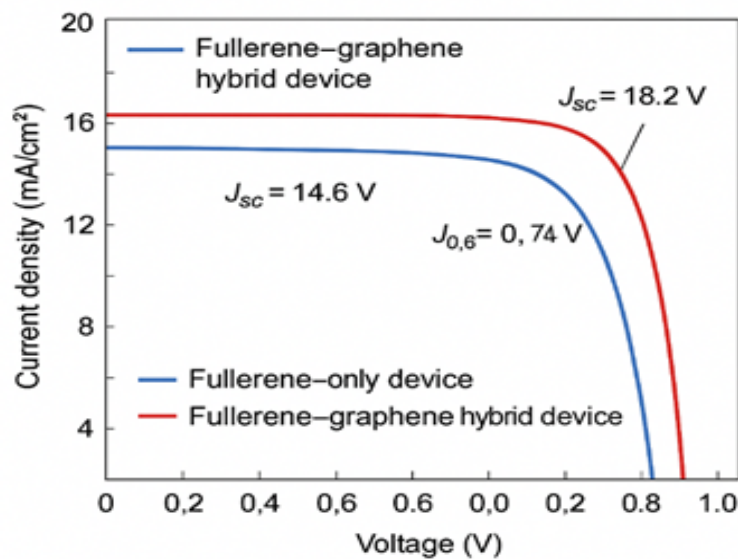


Figure 2. compares the current-voltage ( $J$ - $V$ ) characteristics of the fullerene-only and fullerene-graphene hybrid photovoltaic devices.

This improvement is primarily attributed to enhanced carrier mobility and lower series resistance at the ITO/Ag interface. The hybrid device achieved a fill factor (FF) of 0.63, compared to 0.41 in the control device, resulting in a power conversion efficiency (PCE) increase from 6.1% to 9.1% — nearly a 49% improvement in total output (Li et al., 2023).

$$\eta_{PV} = \frac{J_{sc} \times V_{oc} \times FF}{P_{in}}$$

#### 3.2 Contact Resistivity and Interface Optimization

Table 1 summarizes the measured contact resistivity ( $\rho_c$ ) values for different metallic

stacks used in both PV and TE configurations. The Ni/Au bilayer exhibited the lowest resistivity of  $1.2 \times 10^{-6} \Omega \times \text{cm}^2$ , followed by Ti/Ni/Cu ( $2.8 \times 10^{-6} \Omega \times \text{cm}^2$ ) and Cr/Ag

( $4.5 \times 10^{-6} \Omega \times \text{cm}^2$ ). The superior performance of Ni/Au is attributed to its stable diffusion barrier and oxidation resistance (Wang et al., 2022).

**Table 1. Comparison of contact materials for PV-TE hybrid integration**

Contact Stack	Contact Resistivity ( $\Omega \cdot \text{cm}^2$ )	Adhesion Strength (MPa)	Diffusion Barrier Quality	Relative Cost Index
Ni/Au	$1.2 \times 10^{-6}$	24.6	Excellent	High
Ti/Ni/Cu	$2.8 \times 10^{-6}$	22.1	Good	Moderate
Cr/Ag	$4.5 \times 10^{-6}$	18.4	Fair	Low

The optimization of contact resistivity plays a crucial role in minimizing series losses in both subsystems. Experimental results confirmed that the total interfacial resistance ( $R_{int}$ ) decreases proportionally with improved contact metallization according to:

$$R_{int} = R_{DIF} + R_{TE} + R_{barrier}$$

Reducing  $R_{int}$  leads directly to better electrical coupling and improved hybrid system efficiency.

### 3.3 Thermal Conductivity and Interface Coupling

The heat transfer characteristics of the AlN and Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> interlayers were analyzed. Measured thermal conductivities were  $k_{AlN} = 180 \text{ W/m}\cdot\text{K}$  and  $k_{Al_2O_3} = 28 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ , matching literature values (Chen & Yang, 2023).

The AlN interlayer facilitated faster heat dissipation and a uniform temperature profile, reducing stress and delamination. The interfacial thermal conductance ( $h_c$ ) for AlN reached

$$6.3 \times 10^4 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}, \text{ surpassing the target of } 5 \times 10^4 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}, \text{ as described by:}$$

$$Q = h_c \times A \times \Delta T$$

where  $Q$  is the heat flow across the interface,  $A$  is the contact area, and  $\Delta T$  is the temperature difference.

Thus, the AlN-based hybrid device main-

tained stable operation up to 85 °C, while the Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-based configuration showed partial efficiency degradation beyond 75 °C due to limited heat conduction.

### 3.4 Reliability and Thermal Cycling Behavior

Accelerated thermal cycling between -40 °C and +85 °C for 500 cycles revealed that Ni/Au contacts retained over 95% of their original performance, while Cr/Ag degraded by 25% due to interdiffusion and microcracks.

Damp-heat testing (85 °C, 85% RH, 1000 hours) confirmed that Ni/Au and Ti/Ni/Cu stacks exhibited superior adhesion and corrosion resistance, with SEM/EDS analysis showing negligible diffusion of Au or Ni into the thermoelectric layers

These findings align with prior observations by Wang et al. (2020), suggesting that thermal reliability can be predicted through early-stage adhesion testing and interface energy modeling.

### 3.5 Hybrid System Efficiency Analysis

The total hybrid power conversion efficiency  $\eta_{hybrid}$  was evaluated by combining the electrical outputs of the PV and TE components:

$$\eta_{hybrid} = \eta_{PV} + \eta_{TE}$$

The thermoelectric contribution was determined from:

$$V_{TE} = \alpha_N \times \Delta T = 0.0254 \times 60 = 1.52 \text{ V}$$

for a temperature gradient of 60 K and

127 thermoelectric couples. The resulting system achieved a combined efficiency of **9.1%**, corresponding to a **1.8× enhancement** over the standalone PV module. This synergy arises from the complementary conversion of photon and thermal energy, establishing the hybrid PV-TE architecture as a promising candidate for next-generation solar energy harvesting (Li et al., 2023; Wang et al., 2022).

#### 4. CONCLUSION

This work presented a comprehensive experimental and theoretical investigation into the design of contacts and interlayer materials for hybrid photovoltaic-thermoelectric systems. Integrating an ITO-based PV cell with a Bi<sub>2</sub>Te<sub>3</sub>/Sb<sub>2</sub>Te<sub>3</sub> module, the study demonstrated how optimized Ni/Au contacts and AlN ceramics can

achieve exceptional electrical conductivity, thermal performance, and long-term stability.

The system achieved a contact resistivity of  $1.2 \times 10^{-6} \Omega \cdot \text{cm}^2$  and thermal conductance above  $6 \times 10^4 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ , maintaining over 95% efficiency after 500 thermal cycles. The hybrid PV-TE device reached a total conversion efficiency of 9.1%, compared to 6.1% for the standalone PV cell, proving the advantage of integrated hybrid architectures.

In summary, this study provides practical design and material selection guidelines for scalable, durable, and high-efficiency PV-TE hybrid systems — paving the way for the next generation of multifunctional solar energy devices that combine light and heat harvesting in a single platform.

#### References

1. Chen, Z., & Yang, X. (2023). Reliability analysis of multilayer contact systems under thermal cycling. *IEEE Transactions on Device and Materials Reliability*, 23(2), 98–107. <https://doi.org/10.1109/TDMR.2023.1001234>
  2. Kim, J. H., & Lee, S. Y. (2021). Optimization of transparent conductive oxides (ITO/Ag/ITO) for high-efficiency solar cells. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 232, 111324. <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2021.111324>
  3. Li, X., Zhang, T., & Chen, G. (2023). Hybrid photovoltaic-thermoelectric systems for solar energy harvesting: A review. *Renewable Energy*, 212, 1463–1476. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2023.03.042>
  4. Wang, H., Zhao, Q., & Shi, X. (2020). Thermal and electrical interface optimization in hybrid PV-TE modules. *Applied Energy*, 275, 115315. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.115315>
  5. Wang, Z., Zhou, C., & Shi, X. (2022). Interface engineering in Bi<sub>2</sub>Te<sub>3</sub>-based thermoelectric devices. *Journal of Materials Science*, 57(14), 6505–6520. <https://doi.org/10.1007/s10853-022-06984-4>
  6. Li, X., Zhang, T., & Chen, G. (2023). *Hybrid photovoltaic-thermoelectric systems for solar energy harvesting: A review*. *Renewable Energy*, 212, 1463–1476.
  7. Wang, Z., Zhou, C., & Shi, X. (2022). *Interface engineering in Bi<sub>2</sub>Te<sub>3</sub>-based thermoelectric devices*. *Journal of Materials Science*, 57(14), 6505–6520.
  8. Kim, J. H., & Lee, S. Y. (2021). *Optimization of transparent conductive oxides (ITO/Ag/ITO) for high-efficiency solar cells*. *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 232, 111324.
  9. Wang, H., et al. (2020). *Thermal and electrical interface optimization in hybrid PV-TE modules*. *Applied Energy*, 275, 115315.
  10. Chen, Z., & Yang, X. (2023). *Reliability analysis of multilayer contact systems under thermal cycling*. *IEEE Transactions on Device and Materials Reliability*, 23(2), 98–107.
- A.M. Kasimakhunova, M.O. Atazhonov, A.A. Gizzatullina, G.I. Garifullina, and L.M. Gimaeva “Investigation of the possibility of creating a film photothermal converter”, Proc. SPIE 13662, Fourth International Conference on Digital Technologies, Optics, and Materials Science (DTIEE 2025), 1366212 (5 June 2025); <https://doi.org/10.1117/12.3072647>
- M.O. Atazhonov, Q. Mamarasulov, L. M. Gimaeva, and R. I. Suleimanov “Mathematical model of a photoelectric thermal electric energy converter under load”, Proc. SPIE 13662, Fourth International Conference on Digital Technologies, Optics, and Materials Science (DTIEE 2025), 1366200 (5 June 2025); <https://doi.org/10.1117/12.3072651>

УДК 681.3.01

**Жумалиев Кубанычбек Мырзабекович,**  
*академик НАН КР ПКР, доктор технических наук, профессор*

**Аккозов Абдылдабек Джадыраевич,**  
*кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник*

**Аманова Назира Турдубековна,**  
*старший научный сотрудник*

### **ИНДЕКСЫ РАСТИТЕЛЬНОСТИ КАК ИНДИКАТОРЫ СОСТОЯНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР**

**Жумалиев Кубанычбек Мырзабекович,**  
*КРП КР УИАнын академиги, техника илимдеринин доктору, профессор*

**Аккозов Абдылдабек Джадыраевич,**  
*физико-математика илимдеринин кандидаты, улук илимий кызматкер*

**Аманова Назира Турдубековна,**  
*улук илимий кызматкер*

### **ӨСҮМДҮКТӨРДҮН ИНДЕКСТЕРИ АЙЫЛ-ЧАРБА ӨСҮМДҮКТӨРҮНҮН ӨСҮШ АБАЛЫНЫН ИНДИКАТОРЛОРУ**

**Zhumaliev Kubanychbek Myrzabekovich,**  
*Academician of the NAS KR PKR, Professor, Doctor of Technical Sciences*

**Akkozov Abdyldebek Jadyrayevich,**  
*Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Senior Research Scientist*

**Amanova Nazira Turdubekovna**  
*Senior Research Scientist*

### **VEGETATION INDICES AS INDICATORS OF THE STATE OF AGRICULTURAL CROPS**

*Институт Сейсмология НАН КР ПКР, Бишкек, Кыргызстан  
КРП КР УИА Сейсмология Институту, Бишкек, Кыргызстан  
Institute of Seismology NAS KR PKR, Bishkek, Kyrgyzstan*

**Аннотация.** В данной работе рассматриваются анализ математических формул индексов растительности сельскохозяйственных культур. Индексы растительности служат мощными инструментами для оценки здоровья и обилия растительности в определенной области. Используя сложные математические формулы, эти индексы используют богатство данных дистанционного зондирования, в частности спутниковых снимков, чтобы предоставить бесценную информацию об общем состоянии и продуктивности растительности.

**Ключевые слова:** дистанционное зондирование, вегетационный индекс, БПЛА, хлорофилл, спектральные каналы.

**Аннотация.** Бул иште айыл-чарба өсүмдүктөрүнүн вегетациялык индекстеринин математикалык формулаларын анализдөө каралат. Вегетациялык индекстер белгилүү бир аймактагы өсүмдүктөрдүн абалын жана өсүшүн баалоодо күчтүү курал болуп эсептелет. Татаал математикалык формулаларды колдонуу менен бул индекстер, Жерди аралыктан зонддоонун

мүмкүнчүлүктөрүн, спутниктин сүрөттөлүштөрүн пайдаланып, өсүмдүктөрдүн жалпы абалы жана өндүрүмдүүлүгү жөнүндө баалуу маалыматтарды бере алышат.

**Негизги сөздөр:** аралыктан зонддоо, вегетациялык индекстер, УАУ, хлорофилл, каналдардын спектрлери.

**Annotation.** This paper addresses the problem of calculating vegetation indices for agricultural crops. Vegetation indices serve as powerful tools for assessing the health and abundance of vegetation in a given area. Using complex mathematical formulas, these indices leverage a wealth of remote sensing data, particularly satellite imagery, to provide invaluable information on the overall health and productivity of vegetation.

**Keywords:** remote sensing, vegetation index, UAV, chlorophyll, spectral channels.

### Введение

Сельскохозяйственный мониторинг с использованием дистанционного зондирования Земли базируется на анализе спектральной отражательной способности растений. Измеряя интенсивность отражения света, можно определить состояние посевов с помощью вегетационных индексов. Вегетационные индексы играют ключевую роль в оценке развития сельхозкультур. Среди их главных преимуществ — высокая точность измерений и возможность дистанционного наблюдения, что делает эту технологию востребованной в современном агропромышленном секторе.

Наиболее распространенным показателем является NDVI (нормализованный разностный вегетационный индекс), который рассчитывается на основе спутниковых данных и отражает уровень активной биомассы, а также фитосанитарное состояние растений. Помимо NDVI, в сельском хозяйстве применяются и другие индексы, включая ReCI, GNDVI, SIPI и NDRE, позволяющие оценивать состояние посевов и прогнозировать урожайность. Современное сельское хозяйство активно использует такие технологии как спутниковый мониторинг и аэрофотосъемка с помощью беспилотных летательных аппаратов (БПЛА)[1].

Для съемки Земли из космоса применяются мультиспектральные сканеры, которые, в отличие от обычных фотокамер, фиксируют данные в различных диапазонах электромагнитного спектра. Датчики этих устройств улавливают интенсивность отраженного излучения и преобразуют его в цифровые сигналы, оперативно передаваемые на наземные станции. Беспилотные технологии также находят широкое применение в агропромышленном комплексе. С их

помощью можно оперативно получать данные о площади полей, рельефе местности, свойствах почвы и ходе сельскохозяйственных работ. Обработка снимков с использованием специализированных алгоритмов и спектрального анализа позволяет оценивать продуктивность растений, объем биомассы и активность фотосинтеза.

### Вегетационные индексы функционируют как индикаторы:

Принцип основы: Здоровая зеленая растительность имеет характерный спектральный профиль:

- Сильное поглощение в красной области спектра (Red, 600-700нм) хлорофиллом для фотосинтеза.

- Сильное отражение в ближней инфракрасной области (NIR, 700-1300нм) из-за внутренней структуры листа (мезофилла).

- Стресс (недостаток воды, питательных веществ, болезни, повреждения) изменяет этот профиль: поглощение в красном снижается (лист желтеет или сохнет), отражение в БИК снижается (нарушение структуры листа) [2].

### Нормализованный разностный вегетационный индекс (NDVI)

Из всех распространенных индексов растительности NDVI оптимально подходит для отслеживания динамики развития сельскохозяйственных культур, измеряет фотосинтетическую активную биомассу растений.

$$NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED) \quad (1)$$

NDVI дает самые точные результаты в середине сезона, в период наиболее активного развития вегетации.

### Хлорофилльный Red Edge индекс (ReCI)

Вегетационный индекс хорошо улавливает содержание хлорофилла в листьях, который образуется в результате поглощения растениями азота.

$$\text{ReCI}=(\text{NIR}/\text{RED})-1 \quad (2)$$

В растениях количество хлорофилла зависит от содержания азота, этот ReCI помогает обнаружить участки с пожелтевшей или опавшей листвой[3].

#### **Нормализованный дифференциальный Red Edge индекс(NDRE)**

Для расчета NDRE используют комбинации спектральных каналов ближнего инфракрасного диапазона и специальный канал перехода от видимого красного к ближнему инфракрасному (так называемая область красного края). Чтобы получить точный результат рекомендуется комбинировать индексы NDRE и NDVI.

$$\text{NDRE}=(\text{NIR}-\text{REDEGE})/(\text{NIR}+\text{REDEGE}) \quad (3)$$

NDRE применяют для мониторинга участков с высокой плотностью вегетационного покрова.

#### **Зеленый нормализованный разностный вегетационный индекс (GNDVI)**

В индексе GNDVI также используется инфракрасный диапазон спектра, но видимый красный заменяется видимым зеленым (с540 по 570нм).

$$\text{GNDVI}=(\text{NIR}-\text{GREEN})/(\text{NIR}+\text{GREEN}) \quad (4)$$

Индекс GNDVI измеряет содержание хлорофилла в растениях точнее, чем NDVI. Используется при отсутствии крайнего красного канала.

GNDVI (оценка содержания азота в листьях растений)

#### **Структурный индекс интенсивности пигментов (SIPI)**

Вегетационный индекс растительности SIPI подходит для анализа вегетации с различной структурой. SIPI определяет соотношение каротиноидов к хлорофиллу: высокие значения сигнализируют о том, что растения находятся в состоянии стресса.

$$\text{SIPI}=(\text{NIR}-\text{BLUE})/(\text{NIR}-\text{RED}) \quad (5)$$

Высокие значения SIPI (высокое содержание каротиноидов и низкое содержание хлорофилла) может свидетельствовать о болезни культур, которые часто приводят к снижению количества хлорофилльного пигмента в вегетационном покрове[4].

#### **Выводы**

Индексы растительности - это фундаментальный инструмент современного цифрового сельского хозяйства. Они предоставляют ценную, объективную и пространственно явную информацию о состоянии посевов, позволяя агрономам и фермерам оперативно выявлять проблемы, оптимизировать использование ресурсов, прогнозировать урожайность и в конечном итоге повышать эффективность и устойчивость сельскохозяйственного производства. Наблюдения за динамикой развития сельскохозяйственных культур по данным ДЗЗ (дистанционное зондирование земли) показали, что в спектральном признаковом пространстве каждый вид культуры в определенные сроки и в определенной фазе развития образует компактный кластер (совокупность однородных фотометрических точек). Использование спутниковых технологий и БПЛА открывает новые возможности для точного земледелия, делая его более эффективным и устойчивым.

#### **Список литературы:**

1. А.А.Тронин, «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». 2011.Т.8.№4.С.23-26 «Спектральные методы дистанционного зондирования в геологии»
2. М.Ю. Жиленев «Обзор применения мультиспектральных данных ДЗЗ и их комбинаций при цифровой обработке», ГЕОМАТИКА №3, 2009
3. Якушев В.П., Дубенок Н.Н., Лупян Е.А. Опыт применения и перспективы развития технологий дистанционного зондирования Земли для сельского хозяйства. *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*, 2019, 16(3): 11-23
4. Черепанов А.С. Вегетационные индексы: справочные материалы, Геоматика.-2011, №2, С. 98-102.

УДК 622.23.05

**Исманов Медербек Марипжанович<sup>1</sup>,**  
*доктор технических наук, профессор*

**Токтобаева Гүлбарчын Турсунбаевна<sup>2</sup>,**  
*старший преподаватель*

### **СТЕНДОВЫЕ ИСПЫТАНИЯ НОВОЙ КАМНЕРЕЗНОЙ МАШИНЫ КМЦ-1**

**Исманов Медербек Марипжанович<sup>1</sup>,**  
*техника илимдеринин доктору, профессор*

**Токтобаева Гүлбарчын Турсунбаевна<sup>2</sup>,**  
*улук окутуучусу*

### **КМЦ-1 ЖАҢЫ ТАШ КЕСҮҮЧҮ МАШИНАНЫ СТЕНДДИК СЫНООЛОР**

**Ismanov Mederbek Maripzhanovich<sup>1</sup>,**  
*Doctor of Technical Sciences, Professor*

**Toktobaeva Gulbarchyn Tursunbaevna<sup>2</sup>,**  
*Senior lecturer*

### **BENCH TESTS OF THE NEW STONE-CUTTING MACHINE CMC-1**

<sup>1</sup>*Кыргызско-Узбекский Международный университет им. Б. Сыдыкова,  
Ош, Кыргызская Республика*

<sup>2</sup>*Ошский технологический университет им. М.М. Адышева,  
Ош, Кыргызская Республика*

<sup>1</sup>*Б.Сыдыков ат. Кыргыз-Өзбек Эл аралык университети,  
Ош, Кыргыз Республикасы*

<sup>2</sup>*М.М. Адышев ат. Ош технологиялык университети,  
Ош, Кыргыз Республикасы*

<sup>1</sup>*Kyrgyz-Uzbek International University named after. B. Sydykova,  
Osh, Kyrgyz Republik*

<sup>2</sup>*Osh Technological University named after. M.M. Adysheva,  
Osh, Kyrgyz Republik*

**Аннотация.** Бул жумуш чынжырдуу жумушчу органдуу жаңы таш кесүүчү КМЦ-1 машинасынын стендик сыноосуна арналган. КМЦ-1 жаңы таш кесүүчү машинасына стендик сыноолорду жүргүзүү таш кесүүчү машиналардын жана таш тилүүчү станоктордун ишинин натыйжалуулугун баалоо методдоруна негизделген. “Ак-Таш” жана “Сары-Таш” үлүл-акиташ, “Араван-Таш” акиташ кендеринин таш блокторун кесүүдө КМЦ-1 жаңы таш кесүүчү машинасынын негизги тетиктеринин жана түйүндөрүнүн функционалдык иштөө жөндөмдүүлүгү аныкталды. Эксперименттик диаграммалар тургузулган жана жетектөөчү жылдызчанын ( $U_f$ ) бурчтук ылдамдыгынын чоңдугунун чынжырлуу жумушчу органдын жылуу ылдамдыгынан ( $U_f$ ) өз ара байланышы аныкталган. КМЦ-1 жаңы таш кесүүчү машина менен төмөн жана орто бышыктыктагы табигый таштарды кесүүнүн рационалдуу

режимдери аныкталган. Таш кесүүчү машинанын негизги режимдик параметрлеринин орточо теориялык жана эксперименталдык маанилеринин салыштырма анализи жүргүзүлгөн. КМЦ-1 жаңы таш кесүүчү машинаны төмөн жана орто бышыктыктагы табигый таш кендеринде өнөр жайлык сыноодон өткөрүү боюнча сунуштар берилген.

**Негизги сөздөр:** стенд; эксперименталдык сыноо; таш кесүүчү машина; табигый таш; кесүү процесси; иштөө жөндөмдүүлүгү; кесүү режимдери.

**Аннотация.** Данная работа посвящена стендовым испытаниям новой камнерезной машины КМЦ-1 с цепным рабочим органом. Проведение стендовых испытаний новой камнерезной машины КМЦ-1 базировалась на методах оценки эффективности работы камнерезных машин и камнераспиловочных станков. Разработан стенд и определены функциональные работоспособности основных деталей и узлов новой камнерезной машины КМЦ-1 при распиловке блоков камня месторождений известняка-ракушечника «Ак-Таш» и «Сары-Таш», известняка «Араван-Таш». Построены экспериментальные диаграммы и определены взаимосвязи величины угловой скорости ведущей звездочки ( $U_f$ ) от скорости подачи цепного рабочего органа ( $U_j$ ). Определены рациональные режимы резания природного камня малой и средней прочности новой камнерезной машиной КМЦ-1. Произведен сравнительный анализ средних теоретических и экспериментальных значений основных режимных параметров камнерезной машины КМЦ-1. Даны рекомендации для проведения промышленных испытаний камнерезной машины КМЦ-1 на месторождениях природного камня малой и средней прочности.

**Ключевые слова:** стенд; экспериментальные испытания; камнерезная машина; природный камень; процесс резания; работоспособность; режимы резания.

**Abstract.** This work is devoted to bench tests of the new КМЦ-1 stone-cutting machine with a chain working body. Bench tests of the new КМЦ-1 stone cutting machine were based on methods for evaluating the efficiency of stone cutting machines and stone sawing machines. A stand has been developed and the functional operability of the main parts and assemblies of the new КМЦ-1 stone cutting machine has been determined for sawing stone blocks from the Ak-Tash and Sary-Tash limestone and Aravan-Tash limestone deposits. Experimental diagrams have been constructed and the relationship between the angular velocity of the drive sprocket ( $U_f$ ) and the feed rate of the chain working body ( $U_j$ ) has been determined. The rational modes of cutting natural stone of low and medium strength by the new stone-cutting machine КМЦ-1 have been determined. A comparative analysis of the average theoretical and experimental values of the main operating parameters of the КМЦ-1 stone-cutting machine has been performed. Recommendations are given for conducting industrial tests of the КМЦ-1 stone-cutting machine in deposits of small and medium-strength natural stone.

**Key words:** stand; experimental tests; stone-cutting machine; natural stone; cutting process; operability; cutting modes.

Как известно, перед промышленными испытаниями новой камнерезной машины в реальных производственных условиях возникает необходимость проведения ее стендовых испытаний. Основной целью стендовых испытаний новой камнерезной машины является определение ее надежности и безопасности работы, оценка функциональной работоспособности ее основных деталей и узлов, определение рациональных режимов ее работы экспериментальной распиловкой блоков природного камня малой, средней и высокой прочности.

С учетом вышеизложенного, нами проведены стендовые испытания новой камнерезной машины КМЦ-1 с цепным рабочим органом в производственных условиях ОсОО «Vip Строй» (с/у С. Юсупова Араванского района Ошской области).

Опытный образец новой камнерезной машины КМЦ-1 с цепным рабочим органом предназначена для вырезания стеновых блоков и других строительных изделий-заготовок (кирпич, бордюр, плита и др.) из массива камня малой и средней прочности (рисунок 1) [1].

Стендовые испытания новой камнерезной машины КМЦ-1 проводились на специально подготовленном стенде (рисунок 2), пробной распиловкой блоков природного камня месторождений известняка-ракушеч-

ника «Ак-Таш» и «Сары-Таш», известняка «Араван-Таш». Физико-механические свойства распиливаемых блоков камня представлены в таблице 1 [2]. Блоки камней имели размеры 1,8 x 1,2 x 0,6 м, а общий их объем при испытаниях составил 9,0 м<sup>3</sup>.

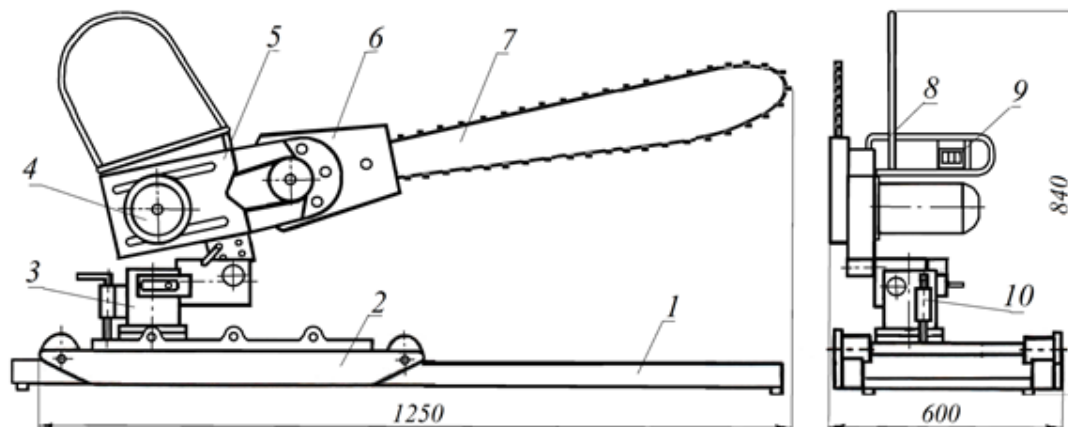


Рисунок 1 - Конструктивная схема новой камнерезной машины КМЦ-1

1 – рельс; 2 – рабочая тележка; 3 – манипулятор; 4 – привод цепного рабочего органа; 5 – корпус привода; 6 – защитный корпус ведущей звездочки; 7 – цепной рабочий орган; 8 – ручка управления; 9 – пульт управления; 10 – ручка для удержания цепного рабочего органа в фиксированном положении.

Схема экспериментального стенда с измерительными приборами и аппаратурой представлена на рисунке 2. Начало экспериментов и испытаний новой камнерезной машины КМЦ-1 при распиловке блока камня зафиксированы на фото-рисунке 3.

Проведение стендовых испытаний новой камнерезной машины КМЦ-1 базировалась на методах оценки эффективности работы камнерезных машин и камнераспиловочных станков [3,4]. При этом ставились задачи:

- определение функциональной работоспособности основных деталей и узлов новой камнерезной машины КМЦ-1;
- определение взаимосвязи величины угловой скорости ведущей звездочки ( $\nu_j$ ) от скорости подачи цепного рабочего органа ( $\nu_i$ ) камнерезной машины КМЦ-1;
- выявление рациональных режимов резания природного камня малой и средней прочности цепным рабочим органом камнерезной машины КМЦ-1.

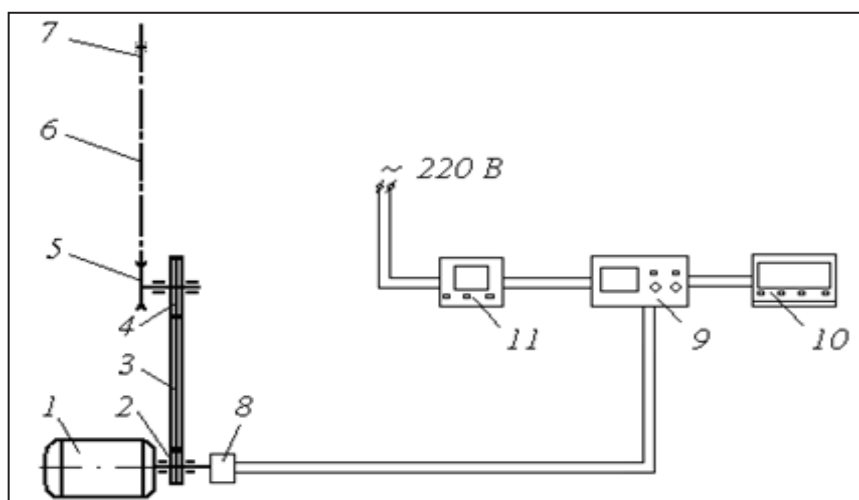


Рисунок 2 - Схема экспериментального стенда

1 – электродвигатель; 2 – ведущий шкив; 3 – клиновой ремень; 4 – ведомый шкив; 5 – ведущая звездочка; 6 – режущая цепь; 7 – ведомый ролик; 8 – генератор постоянного тока типа EG-520ED-3B; 9 – цифровой осциллограф UTD 2102CEL; 10 – портативный компьютер; 11 – мультиметр VA 800.

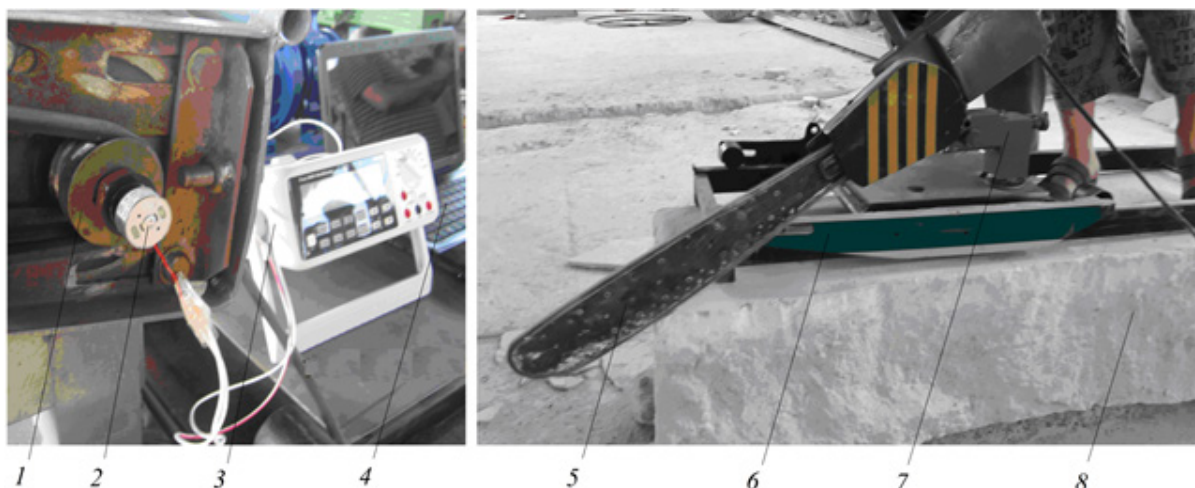


Рисунок 3 - Начало экспериментов и стендовых испытаний машины КМЦ-1:  
а - датчики и измерительные приборы; б – начало распиловки блока камня  
новым цепным рабочим органом

1 – ведущий шкив; 2 – генератор постоянного тока; 3 – мультиметр; 4 – компьютер;  
5 – опытный образец цепного рабочего органа; 6 – рабочая тележка; 7 – манипулятор;  
8 – блок камня.

Известно, что от значения угловой скорости вала электродвигателя  $\omega$  зависит

величины его мощности и крутящего момента, а также усилия протягивания режущей цепи.

Таблица 1 – Физико-механические свойства распиливаемых блоков камня

Порода, месторождение	Цвет	Предел прочности при сжатии, МПа		Плотность, т/м <sup>3</sup>	Пористость, %	Водопоглощение, %	Коэффициент морозо-стойкости
		В сухом состоянии	В водонасыщенном состоянии				
Известняк-ракушечник «Ак-Таш»	Белое	24,2	19,0	1,94	29,8	10,02	0,086...0,93
Известняк-ракушечник «Сары-Таш»	Коричнево-белое	42...51	29,7... 43,7	2,19... 2,8	16,6	4,16...6,6	0,086...0,92
Известняк «Араван-Таш»	Серое, светло-серое	50...80	35,1... 45,8	2,7... 2,9	24,0	6,9...8,5	0,87...0,98

При экспериментах и испытаниях новой камнерезной машины КМЦ-1 на стенде фиксировались следующие параметры: величина потребляемой мощности электродвигателем ( $W_э$ ), угловая скорость ведущей звездочки ( $\nu_f$ ), скорость подачи ЦРО ( $\nu_f$ ), скорость резания цепи ( $\nu_о$ ). Необходимые замеры по определению длины, глубины и ширины технологической щели выполнялись мерной лентой (рулеткой), измерение времени – секундомером, а температура резцов и элементов цепного рабочего органа – контактным термометром. Измерение угловой скорости вала электродвигателя фиксируется генератором постоянного тока типа EG-520ED-3В 8 [5].

Вращательное движение вала электродвигателя (рисунок 2 и 3) с помощью генератора постоянного тока EG-520ED-3В преобразуется в электрический сигнал и передается цифровому осциллографу 9 типа UTD 2102CEL [6]. Полученный электрический сигнал с помощью осциллографа 9 преобразуется в цифровой сигнал и передается к портативному компьютеру 10. Компьютер выдает на мониторе нужную информацию по определению рациональных режимных параметров цепного рабочего органа машины КМЦ-1. Мультиметр (типа VA 800) 11 служит для измерения величины переменного электрического тока [7]. Другие данные

наблюдений и измерений фиксируются в специальном журнале и обрабатываются методом математической статистики [8].

Следует отметить, что изменение значения скорости движения режущей цепи (скорости резания)  $\nu_о$  обеспечивалось заменой ведущего и ведомого шкивов разных диаметров. За предельные величины данной скорости при испытаниях принимались нагрев резцов и других рабочих элементов режущей цепи, повышенные шумы, возникновение пыли в рабочей зоне и вибрации машины. При достижении температуры резцов св. 100°С и при возникновении резонансной вибрации эксперименты приостанавливались во избежание аварий. В заключении экспериментов определена рациональная величина скорости движения режущей цепи для указанных пород камня, значения которых представлены в таблице 2.

Во время экспериментов и испытаний новой камнерезной машины КМЦ-1 блоки распиливались на строительные изделия, где максимальная глубина вертикальных щелей шириной 16 мм (рисунок 4) составляли 600 мм (принято кратным ширине изделия), а расстояния между ними принимались равными толщине изделия. Длина щели составляло в среднем 1800 мм, а горизонтальные щели (рисунок 5) прорезались на глубину 360 мм и 480 мм (кратной толщине выпиливаемых изделий).



Рисунок 4 - Резание вертикальной щели в блоке камня  
1 - блок камня; 2 - рельс машины; 3 - рабочая тележка; 4 - режущая цепь.

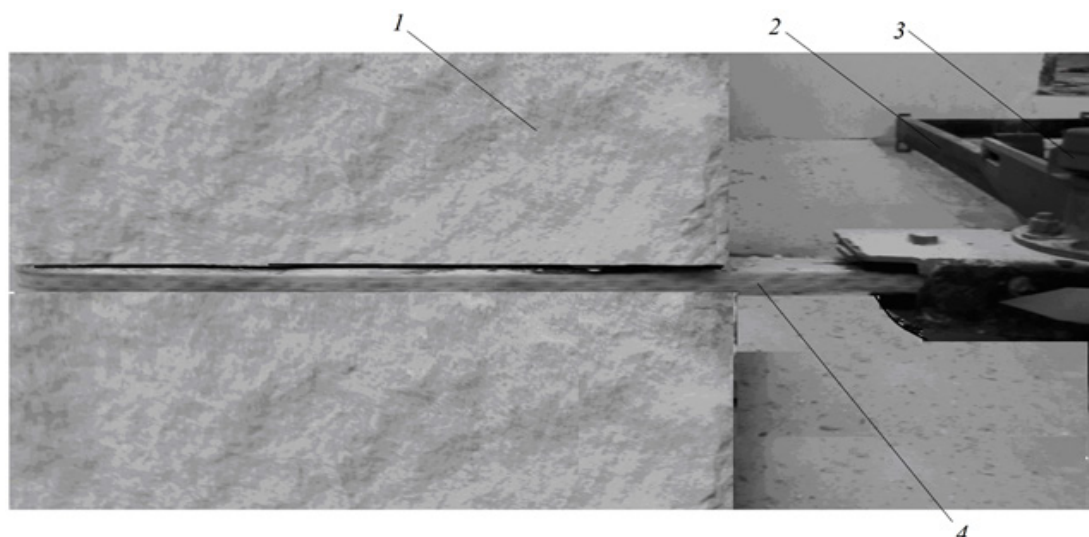


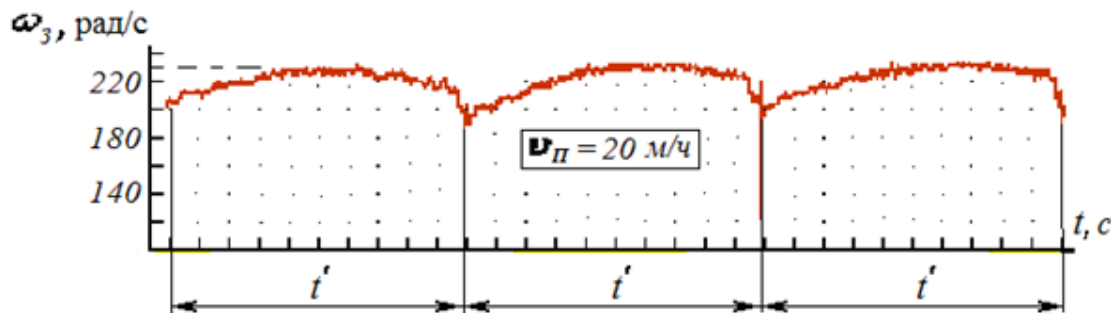
Рисунок 5 - Резание горизонтальной щели в блоке камня  
1 - блок камня; 2 - рельс машины; 3 - рабочая тележка; 4 - режущая цепь.

На рисунке 6 представлены экспериментальные диаграммы, полученные при распиловке блока известняка-ракушечника месторождения «Ак-Таш» с помощью вышеуказанных измерительных приборов и компьютера. Они характеризуют изменение величины угловой скорости ведущей звездочки  $\omega_{\zeta}$  за время  $t'$ , в течении которой ведущая звездочка делает один оборот.

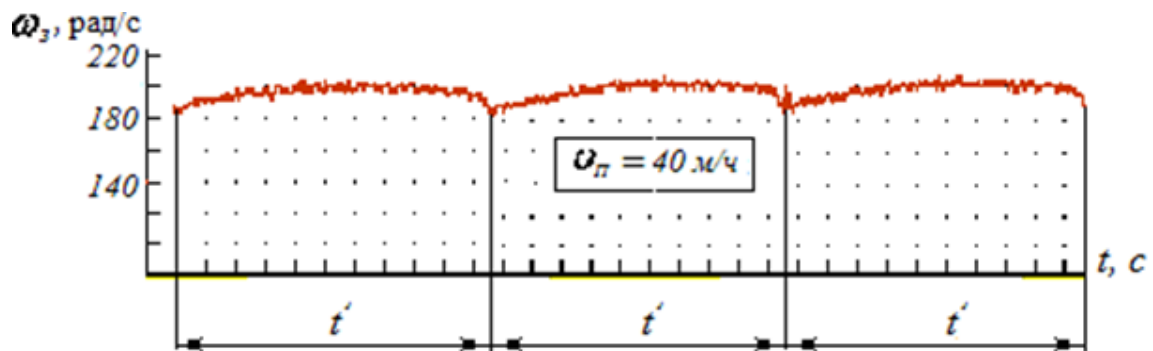
Из этих диаграмм видно, что скорость подачи цепного рабочего органа машины КМЦ-1 в экспериментальной распиловке блока известняка ракушечника «Ак-Таш»

устанавливались равными 20, 40 и 60 м/ч. При скорости  $\omega_{\zeta} = 20$  м/ч наблюдался малопродуктивный режим работы машины КМЦ-1, а изменение величины угловой скорости ведущей звездочки  $\omega_{\zeta}$  составило до 32 рад/с, т.е.  $\omega_{\zeta}$  колебалась в пределах от 230,0 до 198,0 рад/с (рисунок 6, а). Значительное изменение величины  $\omega_{\zeta}$  вызывала дополнительные инерционные нагрузки на основные элементы машины КМЦ-1 при резании камня. И это визуально наблюдалось периодическими уменьшениями крутящего момента вала и ослаблением усилия протягивания режущей цепи машины КМЦ-1.

а



б



в

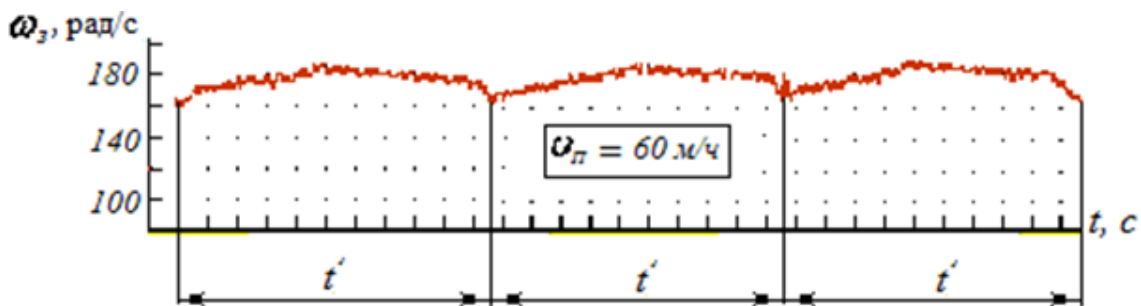


Рисунок 6 - Зависимости угловой скорости ведущей звездочки  $\omega_{\dot{\gamma}}$  от периода времени  $t'$ :

а - при скорости подачи  $v_{\dot{\gamma}} = 20$  м/ч; б -  $v_{\dot{\gamma}} = 40$  м/ч; в -  $v_{\dot{\gamma}} = 60$  м/ч

В процессе распиловки блока со скоростью подачи  $v_{\dot{\gamma}} = 40$  м/ч наблюдался относительно производительный режим работы машины, а изменение угловой скорости ведущей звездочки  $\omega_{\dot{\gamma}}$  за время  $t'$  было незначительным, что составило лишь 13,0 рад/с, т.е.  $\omega_{\dot{\gamma}}$  колебалась в пределах от 200,0 до 187,0 рад/с (рисунок 6, б). При этом шум, вибрация и динамические нагрузки на цепной рабочий орган были минимальными, все узлы и меха-

низмы машины функционировали нормально, движение режущей цепи – относительно равномерным.

При распиловке блока камня со скоростью подачи  $v_{\dot{\gamma}} = 60$  м/ч, также наблюдался относительно производительный режим работы машины, но изменение величины угловой скорости ведущей звездочки  $\omega_{\dot{\gamma}}$  за указанный период времени  $t'$  было значительным, что составило до 23,0 рад/с, т.е.  $\omega_{\dot{\gamma}}$

колебалась в пределах от 183,0 до 160,0 рад/с (рисунок 6, в). В данном случае периодически увеличивался уровень вибрации цепного рабочего органа и другие отрицательные явления (повышенные шумы, нагрев резцов и элементов цепного рабочего органа).

Аналогичным образом были проведены эксперименты по определению рациональных режимов резания блоков известняка-ракушечника месторождения «Сары-Таш» и

известняка «Араван-Таш» новой камнерезной машиной КМЦ-1.

Результаты экспериментов и стендовых испытаний по определению рациональных режимов работы новой камнерезной машины КМЦ-1, в частности рациональные значения скорости резания  $U_f$  и подачи  $U_j$  для известняков-ракушечников «Ак-Таш», «Сары-Таш» и известняка «Араван-Таш» представлены в таблице 2.

**Таблица 2 – Рациональные значения основных режимных параметров новой камнерезной машины КМЦ-1**

Порода, месторождение	Скорость подачи, м/ч	Скорость резания,
		м/с
Известняк-ракушечник «Ак-Таш»	40 ...45	3,4 ...3,8
Известняк-ракушечник «Сары-Таш»	30 ... 35	2,8 ...3,2
Известняк «Араван-Таш»	25 ...30	2,6 ...3,0

Сходимость ранее полученных теоретических результатов [9,10] и настоящих экспериментальных исследований приведены в таблице 3. При сравнении теоретических

и экспериментальных значений основных режимных ( $U_{\text{Э}}, U_{\text{Т}}$ ) параметров новой камнерезной машины КМЦ-1 были учтены их средние значения.

**Таблица 3 – Средние теоретические и экспериментальные значения основных режимных параметров машины КМЦ-1**

Основные режимные параметры ЦРО  Порода, месторождение	Скорость подачи, м/ч			Скорость резания, м/с		
	Эксп.	Теор.	Сход., %	Эксп.	Теор.	Сход., %
Известняк-ракушечник «Ак-Таш»	42,5	40 (30 - 50)	5,9	3,6	3,2 (2,4 - 4,0)	11,2
Известняк-ракушечник «Сары-Таш»	32,5	30 (20 - 40)	7,7	3,0	3,2 (2,6 - 3,8)	6,3
Известняк «Араван-Таш»	27,5	30 (20 - 40)	8,4	2,8	3,2 (2,6 - 3,8)	12,5

Из таблицы 3 видно, что сходимость теоретических и экспериментальных значений скорости подачи и скорости резания цепного рабочего органа машины КМЦ-1 для известняка-ракушечника «Ак-Таш», соответственно составили 5,9 и 11,2 %, известняка-ракушечника «Сары-Таш» – 7,7 и 6,3 %, известняка «Араван-Таш» - 8,4 и 12,5 %. И так, результаты экспериментов подтвердили обоснованность теоретических предпосылок и

конструкторских решений, перспективность новой камнерезной машины КМЦ-1.

За период стендовых испытаний с 4 июля по 27 июля 2016 г., машиной КМЦ-1 были получены (вырезаны из блоков) 58 шт. бордюров, размером: 1500 x 140 x 80 мм (рисунок 7, а) и 54 шт. специальных плит, размером: 1200 x 600 x 80 мм (рисунок 7, б), что обеспечивалось резанием суммарно 46,4 пог. м вертикальной и 10,2 пог. м горизонтальной технологических щелей.



Рисунок 7 - Полученные строительные изделия новой камнерезной машиной КМЦ-1:

а – бордюры; б – плиты

Проведенные стендовые испытания показали, что новая камнерезная машина КМЦ-1 в целом вполне работоспособна, все узлы и механизмы функционируют нормально. Новая камнерезная машина КМЦ-1 с цепным рабочим органом обеспечивает устойчивое резание горизонтальных и вертикальных щелей с шириной до 16 мм в блоках природного камня малой и средней прочности.

Новая камнерезная машина КМЦ-1 рекомендована к промышленным испытаниям с целью апробации технологии получения строительных изделий непосредственно из массива камня в условиях месторождения известняков-ракушечников «Сары-Таш» [11].

#### Выводы

1. Разработан экспериментальный стенд и проведены стендовые испытания новой камнерезной машины КМЦ-1 с цепным рабочим органом. Определены функциональные работоспособности основных

деталей и узлов новой камнерезной машины КМЦ-1 при распиловке блоков камня месторождений известняка-ракушечника «Ак-Таш» и «Сары-Таш», известняка «Араван-Таш»;

Построены экспериментальные диаграммы и определены взаимосвязи величины угловой скорости ведущей звездочки ( $\omega_c$ ) от скорости подачи цепного рабочего органа ( $v_f$ );

Определены рациональные режимы резания природного камня малой и средней прочности новой камнерезной машиной КМЦ-1. Произведен сравнительный анализ средних теоретических и экспериментальных значений основных режимных параметров камнерезной машины КМЦ-1;

Даны рекомендации для проведения промышленных испытаний камнерезной машины КМЦ-1 на месторождениях природного камня малой и средней прочности.

**Список литературы:**

1. **Исманов, М.М.** Особенности новой камнерезной машины с цепным рабочим органом [Текст] / М.М. Исманов // Инженер. – Бишкек: ИА КР, 2025. - №30,31. – С. 36 - 47.
2. **Мендекеев, Р.А.** Научно-прикладные основы создания техники и технологий для камнедобывающей промышленности [Текст]: дис. ... д-ра техн. наук: 05.05.06; 25.00.22 / Р.А. Мендекеев. - Бишкек, 2008. – 374 с.
3. **Красовский, Г.И.** Планирование эксперимента [Текст] / Г.И. Красовский, Г.Ф. Филаретов. – Минск: БГУ, 1982. – 302 с.
4. **Реброва, И.А.** Планирование эксперимента [Текст]: учебное пособие / И.А. Реброва. – Омск: СибАДИ, 2010 – 106 с.
5. Генератор постоянного тока EG-520ED-3B [Электронный ресурс], 2016. – Режим доступа: [https://www.kysanelectronics-com.3dcartstores.com/EG-520ED-3B\\_p\\_1...](https://www.kysanelectronics-com.3dcartstores.com/EG-520ED-3B_p_1...)
6. Цифровой осциллограф UTD 2102 CEL [Электронный ресурс], 2017. – Режим доступа: <http://masteram-online.ru/digital-oscilloscope-uni-t-utd2102cel/>.
7. Мультиметр VA 800 [Электронный ресурс], 2017. – Режим доступа: <http://s-line.ru/catalog/Universalnye/836/>.
8. **Румшинский, Л.З.** Математическая обработка результатов эксперимента [Текст]: справочное пособие / Л.З. Румшинский.- М.: Наука, 1971.- 142 с.
9. **Исманов, М.М.** Определение рационального положения цепного рабочего органа камнерезной машины [Текст] / М.М. Исманов // Наука. Образование. Техника. – Ош: КУУ, 2018. – № 1. – С. 14 – 19.
10. **Исманов, М.М.** Зависимости режимных и конструктивных параметров цепного рабочего органа камнерезных машин [Текст] / М.Т. Мамасаидов, М.М. Исманов // Машиноведение. – Бишкек: ИМаш НАН КР, 2018. - № 2. – С. 45 – 58.
11. **Исманов, М.М.** Проблемы и перспективы развития камнедобывающей и камнеобрабатывающей отраслей промышленности в Кыргызской Республике [Текст] / М.Т. Мамасаидов, М.М. Исманов // Наука. Образование. Техника. – Ош: КУУ, 2019. – № 2. – С. 58 – 64.

УДК 666.3:620.22

**Ташполотов Ысламидин<sup>1</sup>,**  
*доктор физико-математических наук, профессор*  
**Калидин кызы Тойжан<sup>2</sup>,**  
*аспирант*

**ВЛИЯНИЕ БАЗАЛЬТОВОГО ПОРОШКА И ТЕМПЕРАТУРЫ ОБЖИГА НА СВОЙСТВА  
КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ГЛИНЫ**

**Tashpolotov Islamidin<sup>1</sup>,**  
*физика-математика илимдеринин доктору, профессор*  
**Kalidin kyzy Toyzhan<sup>2</sup>,**  
*аспирант*

**БАЗАЛЫТ ПОРОШОГУНУН ЖАНА КҮЙҮҮ ТЕМПЕРАТУРАСЫНЫН  
ЧОПОДОН ЖАСАЛГАН КОМПОЗИТТИК МАТЕРИАЛДАРДЫН КАСИЕТТЕРИНЕ  
ТИЙГИЗГЕН ТААСИРИ**

**Tashpolotov Islamidin<sup>1</sup>,**  
*Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor*  
**Kalidin kyzy Toyzhan<sup>2</sup>,**  
*Postgraduate student*

**EFFECT OF BASALT POWDER AND FIRING TEMPERATURE ON THE PROPERTIES  
OF CLAY-BASED COMPOSITE MATERIALS**

<sup>1</sup>*Ошский государственный университет*

<sup>2</sup>*Институт природных ресурсов им. А.С. Джаманбаева ЮО НАН КР ПКР*

<sup>1</sup>*Ош мамлекеттик университети*

<sup>2</sup>*КРП КР УИА ТБ А.С. Джаманбаев ат. Жаратылыш байлыктары институту*

<sup>1</sup>*Osh State University*

<sup>2</sup>*Institute of Natural Resources named after. A.S. Djamanbaev SO NAS KR PKR*

**Аннотация:** В работе представлены результаты исследования по разработке композитных материалов на основе широкодоступной природной глины Ноокатского месторождения, модифицированной базальтовым порошком Кызыл-Кийского месторождения. Целью работы являлось изучение влияния концентрации базальтового порошка (фракция 10–200 мкм, от 0 до 15 мас. %) и температуры обжига (900, 950, 1000 °С) на основные физико-механические свойства получаемых материалов: прочность на сжатие, водопоглощение и среднюю плотность. Установлено, что введение 5% базальтового порошка и обжиг при 1000 °С позволяют получить материал с максимальной прочностью на сжатие (до 18,5 МПа) по сравнению с немодифицированным образцом. Выявлены нелинейные зависимости влияния добавки на свойства композита, обусловленные изменением кинетики спекания матрицы и гранулометрическим составом системы. Показано, что базальтовый порошок выступает не в качестве армирующего элемента, а как активная минеральная добавка, влияющая на процессы спекания и структурообразования. Полученные результаты демонстрируют перспективность использования природной глины и базальтового порошка для создания эффективных строительных композитов.

**Ключевые слова:** композитный материал, глина, базальтовый порошок, наполнитель, дисперсионное модифицирование, прочность на сжатие, водопоглощение, керамика, температура обжига, фракционный состав.

**Аннотация:** Бул эмгекте Кызыл-Кыя кенинен базальт порошогу менен модификацияланган Ноокат кенинин кеңири жеткиликтүү табигый чопосунун негизинде композиттик материалдарды иштеп чыгуу боюнча изилдөөнүн натыйжалары берилген. Изилдөөнүн максаты базальт порошогунун концентрациясынын (10-200 мкм үлүшү, 0дөн 15 масса% га чейин) жана күйүү температурасынын (900, 950, 1000 °C) натыйжасында алынган материалдардын негизги физикалык жана механикалык касиеттерине: кысуу күчү, сууну сиңирүү жана орточо тыгыздыкка тийгизген таасирин изилдөө болгон. Бул 5% базальт порошогун кошуп жана 1000 °C күйгүзүү өзгөрүлбөгөн үлгүгө салыштырганда максималдуу кысуу күчү (18,5 МПа чейин) менен материалды алып келери аныкталган. Матрицанын агломерациялоо кинетикасынын жана системанын бөлүкчөлөрүнүн көлөмүнүн бөлүштүрүлүшүнүн өзгөрүшүнөн келип чыккан, кошулмалардын композиттик касиеттерге таасиринин сызыктуу эмес көз карандылыгы аныкталды. Базальт порошогу бекемдөөчү элемент катары эмес, агломерация жана структураны түзүү процесстерине таасир этүүчү активдүү минералдык кошумча катары иш алып барары далилденген. Натыйжалар эффективдүү курулуш композиттерин түзүү үчүн табигый чопону жана базальт порошогун колдонуу мүмкүнчүлүгүн көрсөтөт.

**Ачкыч сөздөр:** курама материал, чопо, базальт порошок, толтургуч, дисперстик өзгөртүү, кысуу күчү, сууну сиңирүү, керамика, күйүү температурасы, фракциялык курамы.

**Abstract:** The paper presents the results of a study on the development of composite materials based on widely available natural clay from the Nookat deposit, modified with basalt powder from the Kyzyl-Kiya deposit. The aim of the work was to study the influence of the concentration of basalt powder (fraction 10–200  $\mu\text{m}$ , from 0 to 15 wt.%) and firing temperature (900, 950, 1000 °C) on the main physical and mechanical properties of the obtained materials: compressive strength, water absorption and average density. It was found that the introduction of 5% basalt powder and firing at 1000 °C made it possible to obtain a material with maximum compressive strength (up to 18.5 MPa) compared to an unmodified sample. Nonlinear relationships between the additive's influence on the composite's properties were identified, driven by changes in the matrix sintering kinetics and the system's particle size distribution. It was shown that basalt powder acts not as a reinforcing element, but as an active mineral additive influencing the sintering and structure formation processes. The obtained results demonstrate the potential of using natural clay and basalt powder to create effective building composites.

**Key words:** composite material, clay, basalt powder, filler, dispersion modification, compressive strength, water absorption, ceramics, firing temperature, fractional composition.

## Введение

Актуальность разработки новых композитных материалов на основе доступного и дешёвого местного сырья не вызывает сомнений [1,3]. Глины, как широко распространённые осадочные породы, состоящие преимущественно из глинистых минералов, являются классическим и хорошо изученным сырьём для производства керамики. Однако их применение часто ограничивается недостаточно высокими механическими характеристиками получаемых изделий. Одним из способов модификации свойств керамических матриц является введение дисперсных минеральных наполнителей. Базальтовый порошок, обладающий высокой твёрдостью, химической стойкостью и

потенциальной активностью в процессах спекания, представляет интерес в качестве модифицирующей добавки для подобных композитов [1-6]. В отличие от волокон, механизм влияния порошкообразных добавок заключается в уплотнении упаковки частиц, затруднении диффузионных процессов при спекании или, наоборот, образовании легкоплавких эвтектик, что позволяет целенаправленно управлять структурой и свойствами материала [5,6].

В настоящей работе исследуется влияние содержания базальтового порошка (фракция 10–200 мкм) и режима термической обработки на ключевые эксплуатационные характеристики композитного материала на основе глины.

### Методика эксперимента

В качестве матрицы использовалась природная глина Ноокатского месторождения. В качестве модифицирующей добавки применялся базальтовый порошок Кызыл-Кийского месторождения с фракционным составом 10–200 мкм. Составы готовили с содержанием порошка 0, 3, 5, 10 и 15 мас. %; для обеспечения однородности смешивание проводили в шаровой мельнице в течение 2 часов. Образцы композитного материала в виде кубов формовали методом полусухого прессования под давлением 20 МПа.

Обжиг образцов проводили в муфельной печи в окислительной атмосфере по следующему режиму: нагрев со скоростью 5 °С/мин, выдержка при максимальной температуре

(900, 950 или 1000 °С) в течение 60 минут; охлаждение образцов проводили вместе с печью до комнатной температуры.

Прочность на сжатие (Рсж) определяли по ГОСТ 8462-85, а водопоглощение (В) и среднюю плотность ( $\rho$ ) измеряли по ГОСТ 7025-91; каждая экспериментальная точка представляет собой среднее значение для трёх образцов. Анализ микроструктуры образцов проводили с помощью метода микроскопии[3].

### Результаты и обсуждение

#### 1. Влияние на прочность на сжатие (Рсж)

Заметный положительный эффект на прочность композита наблюдается при введении 5% базальтового порошка (таблица 1).

**Таблица 1**

**Влияние содержания базальтового порошка и температуры обжига на прочность на сжатие (Рсж)**

Содержание базальтового порошка, масс. %	Температура обжига, °С	Прочность на сжатие (Рсж), МПа	Примечание
0 (Контрольный образец)	900	7.0	Базовая прочность немодифицированного материала
0 (Контрольный образец)	950	9.8	Базовая прочность немодифицированного материала
0 (Контрольный образец)	1000	10.4	Базовая прочность немодифицированного материала
3	1000	15.2	Положительный эффект, уплотнение структуры
5	1000	18.5	Максимальное значение прочности, увеличение на ~78%
10	1000	9.1	Снижение прочности из-за агломерации и нарушения спекания
15	1000	8.3	Значительное снижение прочности, рост пористости
20*	1000	~7.0 - 7.5*	Прогнозируемое значение, дальнейшее снижение прочности

При обжиге при 1000 °С прочность возрастает с 10,4 МПа (для немодифицированного образца) до 18,5 МПа. Это увеличение (78%) объясняется уплотнением структуры за счёт оптимального заполнения межча-

стичного пространства глинистой матрицы дисперсными частицами базальта (эффект «микронаполнителя»). Частицы порошка, имеющие высокую твёрдость, также могут создавать дисперсионное упрочнение, за-

трудная движение дислокаций и развитие трещин в матрице.

Однако увеличение содержания порошка до 10 и 15% приводит к снижению прочности (до 8–9 МПа). Это связано с несколькими факторами. Во-первых, частицы базальта, как правило, крупнее частиц глины, и их избыток нарушает однородность структуры, создавая области с повышенной концентрацией наполнителя, которые становятся концентраторами напряжений. Во-вторых, базальтовый порошок может ингибировать процесс спекания керамической матрицы на основе глины, препятствуя диффузии и рекристаллизации частиц, что особенно критично при высоких содержаниях добавки [5,6].

Значение для 20% является экстраполяцией и прогнозом, основанным на выявленной тенденции резкого снижения прочности при содержании добавки выше 5%. Ожидается, что при 20% продолжится рост пористости и нарушение целостности материала, что приведёт к прочности, близкой к контрольному образцу или даже более низкой.

Для наглядности в таблице 1 приведены примерные значения прочности контрольного образца при температурах обжига 900 и 950 °С, чтобы продемонстрировать положительный эффект от повышения температуры.

## 2. Влияние на среднюю плотность ( $\rho$ ).

Введение базальтового порошка привело к неоднозначному изменению плотности (таблица 2) [5,6].

**Таблица 2.**

**Влияние содержания базальтового порошка на среднюю плотность ( $\rho$ ) при обжиге 1000 °С**

Содержание базальтового порошка, масс. %	Средняя плотность ( $\rho$ ), кг/м <sup>3</sup>	Тенденция и объяснение
0 (Контрольный образец)	1850-1900	Базовая плотность немодифицированного материала
3	1950	Незначительное увеличение. Уплотняющий эффект частиц добавки, улучшающих упаковку массы
5	2000	Стабилизация/максимум плотности. Оптимальное заполнение межчастичного пространства матрицы
10	1700	Снижение плотности. Нарушение процесса спекания, увеличение пористости
15	1650	Значительное снижение плотности. Частицы наполнителя создают структурные препятствия для уплотнения

При содержании добавки до 5 % наблюдается незначительное увеличение или стабилизация плотности (1950–2000 кг/м<sup>3</sup> при 1000°C) по сравнению с контрольным образцом. Это подтверждает гипотезу об уплотняющем эффекте дисперсных частиц, улучшающих упаковку массы при прессовании. Дальнейшее увеличение доли порошка (10–15 %) закономерно приводит к снижению плотности (до 1650–1700 кг/м<sup>3</sup>). Это объясняется тем, что частицы базальта, являясь

инертным наполнителем в данных условиях, не участвуют в активном спекании и создают структурные препятствия для уплотнения глинистой матрицы, увеличивая общую пористость материала.

## 3. Влияние на водопоглощение (В/).

Как и ожидалось, повышение температуры обжига для всех составов приводит к снижению водопоглощения за счет более глубокого спекания глиняной керамической матрицы (таблица 3).

**Таблица 3.**

**Влияние содержания базальтового порошка на водопоглощение (В) при обжиге 1000 °С**

Содержание базальтового порошка, масс. %	Водопоглощение (В), %	Тенденция и объяснение
0 (Контрольный образец)	22-25	Базовое водопоглощение немодифицированного материала.
3	21-23	Незначительное снижение. Уплотнение структуры компенсирует возможное увеличение пористости.
5	20-22	Стабилизация/оптимум. Эффект уплотнения частиц добавки сохраняет низкое водопоглощение.
10	28	Рост водопоглощения. Нарушение спекания и увеличение пористости материала.
15	30	Значительный рост водопоглощения. Образование неоднородной пористой структуры.

Влияние базальтового порошка коррелирует с данными по плотности: при содержании 3–5 % водопоглощение остаётся на уровне контрольных образцов или незначительно снижается (20–25% при 1000°С), что свидетельствует о компенсирующем влиянии добавки, а уплотнение упаковки частиц нивелирует возможное увеличение пористости. При высоких концентрациях базаль-

тового порошка (10–15 %) водопоглощение композита резко возрастает (до 28–30 %), что связано с увеличением общей пористости из-за нарушения процесса спекания и образования неоднородной структуры.

#### 4. Влияния размера частиц.

Использованная фракция базальтового порошка (10-200 мкм) играет ключевую роль в наблюдаемых эффектах.

**Таблица 4. Влияние размера частиц базальтового порошка на свойства керамического материала**

Фракция базальтового порошка, мкм	Влияние на структуру и свойства	Эффект и перспективы применения
10-200 (Использованная)	Смешанный эффект, зависящий от концентрации: частицы соизмеримы с частицами глинистой матрицы.	<i>Низкие/средние концентрации (3-5%):</i> Эффективное встраивание в структуру, уплотнение упаковки, стабилизация плотности. <i>Высокие концентрации (10-15%):</i> Крупные частицы создают границы раздела и структурные дефекты, что приводит к росту пористости и снижению прочности.
<50 (Перспективная)	Положительный: мелкие частицы выступают активным наполнителем.	Ожидаемый эффект: Более однородное распределение в матрице, возможное участие в реакциях спекания, снижение негативного влияния на плотность и прочность даже при повышенных дозировках.

Частицы базальтового порошка размером от 10 до 200 мкм соизмеримы с частицами глинистого сырья, что позволяет им эффективно встраиваться в структуру матрицы, не нарушая её целостность при низких и средних концентрациях. Однако увеличение размера частиц (до 200 мкм) обуславливает негативный эффект при высоких содержаниях добавки, так как крупные частицы создают протяжённые границы раздела и дефекты, инициирующие разрушение композита. Для дальнейшего повышения эффективности модификации перспективно использование более тонких фракций базальтового порошка (<50 мкм), которые выступают в роли активного наполнителя, участвующего в реакциях спекания.

### Выводы

Проведенные исследования позволили установить влияние базальтового порошка Кызыл-Кийского месторождения с фракциями от 10 до 200 мкм на свойства композитов на основе глины Ноокатского месторождения:

### Список литературы:

1. Hand V. et al. A short review on basalt fiber reinforced polymer composites // Composites Part B: Engineering. 2015. Vol. 73. P. 166-180.
2. Чижова М.А. Технология композиционных материалов: курс лекций для студентов – Лесосибирск: ЛфСибГУ, 2017. – 311 с.
3. Атырова Р. С. Разработка технологии керамических материалов и изделий с использованием местного базальта. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. Ош, 2015.-22с.
4. Колосова А.С., Пикалов Е.С. Современные эффективные теплоизоляционные материалы на неорганической основе// Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований Технические науки. 2020, №9, с.64-75.
5. Ферропов Ю.С., Колесников А.В. Дисперсно-армированные керамические материалы // Перспективные материалы. 2018. №5. С. 45-53.
6. Ahmed S., Jones F.R. A review of particulate reinforcement theories for polymer composites // Journal of Materials Science. 1990. Vol. 25. P. 4933-4942.

1. Установлено, что базальтовый порошок является не армирующей добавкой, а наполнителем, комплексно влияющим на процессы уплотнения и спекания керамической матрицы.

2. Оптимальное содержание базальтового порошка составляет 5 масс. %, а оптимальная температура обжига – 1000 °С. Данный режим позволяет получить материал с повышенной прочностью на сжатие (до 18,5 МПа) при сохранении приемлемого уровня водопоглощения и плотности.

3. Выявлено, что дальнейшее увеличение содержания добавки приводит к ухудшению свойств из-за нарушения однородности структуры и ингибирования процессов спекания.

Полученные результаты показывают принципиальную возможность использования базальтового порошка в качестве модификатора керамики на основе глины. Перспективным направлением дальнейших исследований является использование более дисперсных фракций базальтового порошка и изучение их влияния на реакционную способность системы при обжиге.

УДК 662.642:621.9.048.6

**Камбарова Гульнара Бексултановна<sup>1</sup>,**  
*кандидат химических наук, старший научный сотрудник*  
**Джапарова Шакархон<sup>2</sup>,**  
*кандидат химических наук, доцент*  
**Сартова Кулумкан Абдыкеримовна<sup>1</sup>,**  
*кандидат химических наук, доцент*  
**Чакаев Нургазы<sup>1</sup>,**  
*научный сотрудник*

**ВЛИЯНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ОБРАБОТКИ НА ВЫХОД  
ГУМИНОВЫХ КИСЛОТ ИЗ УГЛЯ МЕСТОРОЖДЕНИЯ КАРА-КЕЧЕ**

**Камбарова Гульнара Бексултановна<sup>1</sup>,**  
*химия илимдеринин кандидаты, улук илимий кызматкер*  
**Жапарова Шакархон<sup>2</sup>,**  
*химия илимдеринин кандидаты, доцент*  
**Сартова Кулумкан Абдыкеримовна<sup>1</sup>,**  
*химия илимдеринин кандидаты, доцент*  
**Чакаев Нургазы<sup>1</sup>,**  
*илимий кызматкер*

**КАРА-КЕЧЕ КЕНИНИН КӨМҮРҮНӨН ГУМИН КИСЛОТАЛАРЫНЫН  
ЧЫГЫШЫНА УЛЬТРАУН МЕНЕН ИШТЕТҮҮНҮН ТААСИРИ**

**Kambarova Gulnara Beksultanovna<sup>1</sup>,**  
*Candidate of Chemical Sciences, Senior Researcher*  
**Dzhaparova Shakarkhon<sup>2</sup>,**  
*Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor*  
**Sartova Kulumkan Abdykerimovna<sup>1</sup>,**  
*Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor*  
**Chakaev Nurgazy<sup>1</sup>,**  
*Research Associate*

**EFFECT OF ULTRASONIC TREATMENT ON THE YIELD  
OF HUMIC ACIDS FROM KARAKECHE COAL DEPOSIT**

<sup>1</sup>*Институт химии и фитотехнологий НАН КР ПКР, Бишкек,  
Кыргызская Республика*

<sup>2</sup>*Ошский технологический университет им. М.М. Адышева, Ош,  
Кыргызская Республика*

<sup>1</sup>*КРП КР УИА Химия жана фитотехнология институту, Бишкек,  
Кыргыз Республикасы*

<sup>2</sup>*М. М. Адышев ат. Ош технологиялык университети, Ош,  
Кыргыз Республикасы*

<sup>1</sup>*Institute of Chemistry and Phytotechnologies NAS KR PKR, Bishkek,  
Kyrgyz Republik*

<sup>2</sup>*Osh Technological University named after M.M.Adyshev, Osh,  
Kyrgyz Republik*

**Аннотация.** В данной работе проведены исследования по изучению влияния ультразвука на выход гуминовых кислот из угля Кара-Кече и их физико-химических свойств. Уголь месторождения Кара-Кече, подвергаясь окислению в естественных условиях, вполне пригоден для выделения из него гуминовых кислот, содержание которых в окисленном угле равно 60%. Кроме окисленных углей, на месторождении Кара-Кече имеются невыветрившиеся угли, в которых содержание гуминовых кислот колеблется в пределах 6-15% и относящихся к некондиционным углям, поскольку представляют собой угольную мелочь. Целью данной работы является возможность увеличения выхода гуминовых кислот модификацией структуры угля. Одним из методов интенсификации процесса извлечения гуминовых кислот из углей является ультразвуковая обработка, которая возможно позволит увеличить выход гуминовых кислот.

**Ключевые слова:** гуминовые кислоты, окисленный уголь, щелочная экстракция, ультразвуковое экстрагирование, физико-химические свойства.

**Аннотация.** Бул иште Кара-Кече көмүрүнөн гумин кислоталарынын чыгышына жана алардын физикалык-химиялык касиеттерине ультрауң таасири изилденген. Кара-Кече кенинин көмүрү, табигый шарттарда кычкылданууга дуушар болуп, андан гумин кислоталарын алууга жарактуу, кычкылданган көмүрдө алардын курамы 60% түзөт. Кычкылданган көмүрлөрдөн тышкары, Кара-Кече кенинде эрибеген көмүрлөр да бар, аларда гумин кислоталарынын курамы 6-15% чейин өзгөрүп турат жана алар көмүр майдасы болгондуктан, сапатсыз көмүрлөргө кирет. Бул иштин максаты – көмүр түзүмүн модификациялоо аркылуу гумин кислоталарынын чыгышын көбөйтүү мүмкүнчүлүгү. Көмүрлөрдөн гумин кислоталарын алуу процессин күчөтүү ыкмаларынын бири – ультрауң менен иштетүү, бул гумин кислоталарынын чыгышын көбөйтүүгө мүмкүндүк берет.

**Негизги сөздөр:** гумин кислоталары, кычкылданган көмүр, щелочтук экстракция, ультрауң экстракциясы, физикалык-химиялык касиеттер.

**Abstract.** This work investigates the effect of ultrasound on the yield of humic acids from Karakeche coal and their physicochemical properties. Karakeche coal, oxidized under natural conditions, is suitable for humic acid extraction, with a humic acid content of 60% in oxidized coal. In addition to oxidized coals, Karakeche deposit also contains unweathered coals with humic acid content ranging from 6-15%, considered off-spec due to being coal fines. The aim of this study is to increase humic acid yield by modifying coal structure. Ultrasound treatment is one method to intensify humic acid extraction from coals, potentially increasing their yield.

**Keywords:** humic acids, oxidized coal, alkaline extraction, ultrasonic extraction, physicochemical properties.

В настоящее время актуальным вопросом является создание эффективных и экологически безопасных технологий по глубокой переработке угля и производства ценной химической продукции на его основе. Одним из ценных продуктов такой переработки являются гуминовые кислоты, относящиеся к соединениям многофункционального действия и применяющиеся в различных отраслях народного хозяйства: сельское хозяйство, медицина, фармацевтическая промышленность и т.д. Получают гуминовые кислоты (ГК) из различного ископаемого и возобновляемого сырья, в их числе бурый уголь.

Выделяют ГК из ископаемого сырья щелочной экстракцией. В последнее время для повышения эффективности выделения гуминовых кислот используют физические факторы, такие как вибропомол, низкочастотное акустическое воздействие, обработка угля под высоким давлением, ультразвуковая обработка. Применение таких факторов, как показывает анализ публикаций, является перспективным методом для увеличения выхода ГК.

В данной работе проведены исследования по изучению влияния ультразвука на выход гуминовых кислот из окисленного угля Кара-Кече и их физико-химических свойств.

### Материалы и методы исследования

**Объект исследования и его характеристика.** Объектом исследования является окисленный уголь месторождения Кара-Кече, находящегося в Кавакском бассейне.

Одним из перспективных направлений не топливного использования углей признаётся их окислительная переработка в мягких условиях.

В природе под действием внешних условий (кислорода воздуха и сточных вод)

происходит самопроизвольное окисление (выветривание) бурых и каменных углей непосредственно в местах залегания. В результате выветривания уголь также обогащается кислородсодержащими функциональными группами и приобретает кислый характер. Процессы мягкого окисления, происходящие в естественных условиях, при выветривании угольных пластов месторождений, приводят к образованию гуминовых кислот.

Характеристика окисленного угля месторождения Кара-Кече приводится в табл. 1 – 2.

**Таблица 1. Технический анализ угля Кара-Кече, %**

Проба	$W_{\text{вн}}$	$W^a$	$A^d$	$V^{\text{daf}}$	$(\text{HA})^{\text{daf}}$
Окисленный уголь	7,23	9,82	11,48	35,24	60,0

**Таблица 2. Элементный состав, % daf**

Проба	C	H	N	S	O
Окисленный уголь	68,8	3,3	1,3	1,5	25,1

Изучение химико-технологической характеристики угля, в том числе окисленного, дает возможность оценить его как источник химического сырья. Из данных табл. 1 видно, что уголь месторождения Кара-Кече, подвергаясь окислению в естественных условиях, вполне пригоден для выделения из него гуминовых кислот, содержание которых в окисленном угле равно 60%.

Кроме окисленных углей, на месторождении Кара-Кече имеются невыветрившиеся угли, в которых содержание гуминовых кислот колеблется в пределах 6-15% и относящихся к некондиционным углям, поскольку представляют собой угольную мелочь.

Целью данной работы является возможность увеличения выхода гуминовых кислот модификацией структуры угля.

Одним из методов интенсификации процесса извлечения гуминовых кислот из углей является ультразвуковая обработка, которая возможно позволит увеличить выход гуминовых кислот.

**Методы исследования исходного сырья.** Окисленный уголь высушивали до по-

стоянной массы при комнатной температуре и проводили ее измельчение до прохождения через сито 5 мм. Из этой массы отбирали среднюю представительную пробу, которую измельчали до фракции < 0,25 мм и подвергали анализу в соответствии с существующими методами [1].

Ультразвуковую обработку угля проводили на ультразвуковой установке BioBase UC - 20 А, при частоте 40 кГц, мощности ультразвука 120 W и температуре 50°C. Окисление проводили на 20% водную суспензию угля (соотношение Т:Ж - 1:5) и время воздействия ультразвука – 20 мин. Уголь отфильтровали и высушили при температуре 105°C.

Извлечение гуминовых кислот традиционным методом заключается в щелочной экстракции в течение 2 ч на водяной бане при температуре 800°C (ГОСТ 9517-94, ИСО 5073:1999).

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Традиционным методом была наработана партия ГК для изучения физико-химических свойств. Характеристика выделенных традиционным методом гуминовых кислот приведена в табл. 3-4.

**Таблица 3. Характеристика гуминовых кислот**

Проба ГК из	Технический анализ, %			Содержание функциональных групп, мг-экв/г		
	W <sup>a</sup>	A <sup>d</sup>	V <sup>daf</sup>	COOH	OH	CO
Уголь Кара-Кече	9,10	5,01	32,80	2,68	4,34	0,36
Окисленный уголь Кара-Кече	9,50	4,38	34,60	2,71	4,31	0,83

**Таблица 4. Элементный состав гуминовых кислот, % daf**

Проба ГК из	C	H	S	N	O
Уголь Кара-Кече	67,34	2,98	0,53	0,96	28,19
Окисленный уголь Кара-Кече	68,05	3,10	0,41	0,81	27,63

Содержание углерода и водорода выше у ГК, полученных из окисленного угля. Содержание функциональных групп распределено равномерно.

Выход ГК из угля (основной пласт) достигает 17%, а из окисленного угля 60%. Выветрившийся в естественных условиях уголь, благодаря свойствам ГК, можно использовать в различных отраслях народного хозяйства. Определение содержания ГК позволяет обнаружить пласты окисленных углей и вести поиск путей эффективного их использования.

Некондиционные угли (мелочь) можно подвергнуть направленному окислению с целью увеличения содержания в них гуминовых кислот.

**Ультразвуковая обработка угля Кара-Кече.** Для эффективного выделения гуминовых кислот из неокисленного угля провели ультразвуковую обработку. Ультразвуковую обработку угля проводили на ультразвуковой установке BioBase UC - 20 A, при частоте 40 кГц, мощности ультразвука 120 Вт.

Извлечение ГК проводили при различных условиях.

Для этого уголь Кара-Кече (основной пласт) измельчили до фракции 0,5 мм. Навеску измельченного образца помещали в колбу, добавляли 1% гидроксид натрия (соотношение угля и раствора щелочи 1:20) и действовали ультразвуком при температуре 50°C с продолжительностью ультразвукового воздействия в течение 10-20 мин.

Под воздействием колебаний ультразвуковой частоты в обрабатываемой смеси формируются зоны интенсивной кавитации и диффузного растворения субстрата в экстрагенте [2].

Первую партию ГК получили при экстрагировании 1% раствором гидроксида натрия и кратковременной ультразвуковой обработке щелочного экстракта в течение 10 мин при температуре 50°C.

Вторая партия ГК наработана при экстрагировании 1% раствором гидроксида натрия и ультразвуковой обработке щелочного экстракта в течение 20 мин при температуре 50°C.

Третья партия ГК выделена при экстрагировании 1% раствором гидроксида натрия и кратковременной ультразвуковой обработке щелочного экстракта в течение 10 мин при температуре 50°C, с последующим оставлением раствора на 24 ч.

**Влияние ультразвука на выход гуминовых кислот.** Авторы [3] отмечают, что гидродинамическая кавитация практически не влияет на природу функциональных групп в структуре молекул ГК. Новообразование функциональных групп в молекулах ГК происходит за счет окислительных процессов при преобразовании промежуточных продуктов гумификации.

В статье [4] показано, что в интервале от 20°C до 80°C имеют место противоположные процессы деструкции и конденсации гуминовых веществ. Под действием гидродинамической кавитации в молекулах гуминовых кислот разрушаются мостиковые связи, и уменьшается система полисопряжения.

Согласно литературным источникам [5], при ультразвуковой обработке происходят процессы преобразования гуминовых веществ, которые сопровождаются частичной деструкцией алифатических фрагментов и различных конденсационных процессов.

Проведены три серии извлечения ГК из неокисленного угля, результаты которых приведены в табл. 5.

**Таблица 5. Условия выделения и выход гуминовых кислот**

№	Условия выделения ГК	Выход ГК, %
1	Экстракция 1 % щелочью, 2 ч при 80°C (водяная баня)	17,00
2	Экстракция 1 % щелочью, УЗО, 10 мин, 50°C	32,25
3	Экстракция 1 % щелочью, УЗО, 20 мин, 50°C	31,80
4	Экстракция 1 % щелочью, УЗО, 10 мин, 50°C, настаивание 24 ч при комнатной температуре	46,30

Результаты извлечения гуминовых кислот (табл. 5) из неокисленного угля месторождения Кара-Кече показали, что при увеличении времени ультразвуковой обработки выход гуминовых кислот незначительно снижается. Возможно, это связано с процессами конденсации и полимеризации промежуточных продуктов, которые не растворимы и выпадают в осадок.

Проведение кратковременного ультразвукового экстрагирования позволяет увеличить выход гуминовых кислот почти в 2 раза.

Более эффективный способ извлечения гуминовых кислот – это сочетание ультразвуковой экстракции в водно-щелочной среде с последующим настаиванием в течение 24 ч при комнатной температуре.

Результаты изучения ультразвуковой обработки неокисленного угля показали, что выход гуминовых кислот увеличивается в 2-3 раза по сравнению с традиционным извлечением ГК.

Ультразвуковое экстрагирование невыветрившихся углей можно использовать для увеличения выхода гуминовых кислот

и дальнейшего получения на их основе различных композиций, применяемых в сельском хозяйстве, медицине и т.д.

**Заключение.** Изучены физико-химические свойства окисленного угля месторождения Кара-Кече для оценки возможности использования его как источник химического сырья. Данный уголь, подвергаясь окислению в естественных условиях, вполне пригоден для выделения из него гуминовых кислот, содержание которых в окисленном угле равно 60%. Невыветрившиеся угли, в которых содержание гуминовых кислот колеблется в пределах 6-15%, подвергали воздействию ультразвука для увеличения выхода гуминовых кислот. Результаты изучения ультразвуковой обработки неокисленного угля показали, что выход гуминовых кислот увеличивается в 2-3 раза по сравнению с традиционным извлечением ГК. Изучены физико-химические свойства полученных гуминовых кислот. Содержание углерода и водорода выше у ГК, полученных из окисленного угля. Содержание функциональных групп распределено равномерно.

### Список литературы:

1. И.В. Августевич, Е.И. Сидорук, Т.М. Броневец. Стандартные методы испытания углей. Классификация углей. - М.: «Реклама мастер», 2018. - 576 с.
2. В.Н. Хмелев, Ю.М. Кузовников, М.В. Хмелев. Ультразвуковые аппараты для научных исследований // Южно-Сибирский научный вестник.-2017.-№1(17).- С.5-13.
3. Л.Ю. Цвирко и др. Влияние кавитационной обработки торфа на содержание функциональных групп в гуминовых кислотах // Природопользование.-2013.-В.24.- С. 156-160.
4. Н.Н. Бамбалов и др. Технологическая эффективность гидродинамической кавитационной обработки торфа перед экстракцией гуминовых веществ // Природопользование.-2018.-№ 1.- С. 190-197.
5. Г.В. Ларина, А.Е. Сокруто, А.Д. Макарюк и др. Интенсификация извлечения гуминовых кислот из горных торфов с использованием ультразвуковой обработки // Южно-Сибирский научный вестник.- 2022.- № 6 (46).- С. 23-29.

УДК 630\*8

**Кулиев Арастанбек Саипович**<sup>1,2</sup>,  
кандидат сельскохозяйственных наук, Ph.D.  
**Хегай Иван Валерьевич**<sup>1,2</sup>,  
кандидат биологических наук  
**Конурбаева Кумушкан**<sup>2</sup>,  
ученый секретарь

**БЕЗ КОЛЮЧАЯ ФОРМА ОБЛЕПИХИ КРУШИНОВИДНОЙ  
(*Hippophae rhamnoides* L) В ПРИРОДНЫХ ПОПУЛЯЦИЯХ ИССЫК-КУЛЯ**

**Кулиев Арстанбек Саипович**<sup>1,2</sup>,  
Ph.D., айыл чарба илимдеринин кандидаты  
**Хегай Иван Валерьевич**<sup>1,2</sup>,  
биология илимдеринин кандидаты  
**Конурбаева Кумушкан**<sup>2</sup>,  
окумуштуу катчы

**ЫСЫК-КӨЛДҮН ТАБИГЫЙ КАЛКЫНДАГЫ ЧЫЧЫРКАНАКТЫН  
(*Hippophae rhamnoides* L) ТИКЕНСИЗ ФОРМАСЫ**

**Kuliev Arstanbek Saipovich**<sup>1,2</sup>,  
Ph.D., candidate of Agricultural Sciences  
**Khegai Ivan Valerievich**<sup>1,2</sup>,  
candidate of biological sciences  
**Konurbaeva Kumushkan**<sup>2</sup>,  
scientific secretary

**A THORNY-LESS FORM OF SEA BUCKTHORN (*Hippophae rhamnoides* L)  
IN NATURAL POPULATIONS OF ISSYK-KUL**

<sup>1</sup>Научно-производственный центр леса НАН КР ПКР, г. Бишкек, Кыргызская Республика

<sup>2</sup>Международный институт гор, г. Бишкек, Кыргызская Республика

<sup>1</sup>КРП КР УИАнын токой чарбасы боюнча илимий-өндүрүштүк борбору,  
Бишкек шаары, Кыргыз Республикасы

<sup>2</sup> Эл аралык Тоо институту, Бишкек, Кыргыз Республикасы

<sup>1</sup>Research and Production Center for Forestry of the NAS KR PKR, Bishkek, Kyrgyz Republic

<sup>2</sup>International Institute of Mountains, Bishkek, Kyrgyz Republic

**Аннотация.** В данной статье излагаются результаты экспедиционных исследований облeпихи крушиновидной по изучению приёмов и методов селекционной, морфологической оценки отбора хозяйственно ценных признаков насаждений облeпихи озера Иссык-Куль. Впервые нами обнаружено бесшипая облeпиха в дикорастущих популяциях вокруг озера Иссык-Куль. Экспериментальным путём начаты вегетативное и семенное размножение в культуре.

**Ключевые слова.** Облeпиха крушиновидная, Иссык-Куль, без колючая, форма, дикорастущие, климат, плантация, размножение, посадка.

**Аннотация.** Бул макалада Ыссык-Көлдөгү крушина чычырканактарына эксперименталдык илимий изилдөөлөрдүн натыйжалары берилген. Изилдөө селекция, морфология ыкмаларына баа берүү менен бирге, чарбага баалуу белгилерине карата тандама жүргүзүл-

гон. Биринчи жолу биз Ыссык-Көлдүн айланасындагы жапайы популяциялардан тикенексиз чычырканагын таптык. Вегетативдик жана үрөнүнөн көбөйтүүнү эксперименталдык түрүндө баштадык.

**Негизги сөздөр:** Чычырканак, Ысык-Көл, тикенексиз, форма, жапайы, климат, плантация, көбөйтүү, отургузуу.

**Annotation.** This article presents the results of expeditionary studies of the sea buckthorn.

We did research methods, techniques of selection, morphological evaluation of selection of economically valuable features of plantations of sea buckthorn of Issyk-Kul Lake. For the first time, we discovered thornless sea buckthorn in wild populations around Lake Issyk-Kul. Vegetative and seed propagation in culture were started experimentally.

**Key words.** Sea buckthorn, Issyk-Kul, thornless form, wild-growing, climate, plantation, propagation, planting.

### Ведение

Облепихники – (*Hippophae rhamnoides* L/ сем. *Elaeagnaceae*), кыргызское название – чычырканак, это густые трудно проходимые заросли из облепихи, иногда с примесью ив, тополей, шиповника, барбариса, таволги и других листопадных кустарников и небольших деревьев.

Облепиха – одна из важнейших дикорастущих пород прирусловых и прибрежных лесов произрастающих биосферной территории Исык-Куля и имеет огромное экологическое, водоохранное, почвозащитное и эстетическое значение для местного населения. Важнейшей экологической функцией облепихи является укрепление почв и берегов. Первоочередным из направлений её решения выступает хозяйственное использование плодов облепихи, представляющей как пищевое, витаминное и лекарственное растение.

Облепиха Исык-Кульского региона отличается от европейских и других форм высоким содержанием масла в мякоти -5,6 гр. На 100 гр. На базе этих отличных параметров, облепиха Исык-Куля является важным ресурсом для получения облепихового масла и представляет интерес в самой Республике и за пределами Кыргызстана. Общая площадь её зарослей в Исык-Кульской котловине по литературным данным оценивается около-5000 га. Плоды облепихи можно назвать кладом жизненно важных для человека витаминов. Поэтому ягоды облепихи представляют большой экономический интерес. Через сбор и реализацию ягод можно получить значительный дополнительный доход в семейный бюджет. [1]

Урожайность зарослей облепихи везде

низкая. Средняя урожайность одного куста составляет 1,2 кг при максимальной урожайности 3,8 кг. В расчете на один га. Урожайность не превышает 300 кг. В среднем составляет 100 кг. Из - за заболеваний многих кустов и зарослей, особенно повреждены прибрежные заросли, общий запас по Исык-Кульской котловине не возможно определить. По предварительным визуальным анализам заросли болеют эндомикозом, что приводит к засыханию плодов. Такое сплошное заболевание наблюдается впервые за последние 5 лет.

Определить ежегодно заготавливаемый объем оказалось также очень сложно, так как большинство заготовок ведется нелегальным образом. По наблюдениям уличных продаж и разговорам с перерабатывающими предприятиями нами установлена ежегодная заготовка в объеме 7-12 т. по всей области. Местные жители и фирмы каждый год увеличивают объем заготовки, хотя нынешние объемы ещё далеки от объемов заготовок в советское время. По данным Пржевальского Плодовинсовхозкомбината ежегодные заготовки составляли до 200 т. По нашим оценкам ежегодная заготовка учитывая сегодняшнее состояние зарослей, не превышает 70т.

Учитывая плохое состояние зарослей облепихи, разработка мероприятий по сохранению и улучшению существующих естественных зарослей облепихи вокруг озера и в прилегающих районах биосферной территории, а также упорядочение их использования являются актуальными задачами. При этом необходимо учитывать имущественное отношение зарослей и принадлежность к зонам Биосферной Территории. Только

25% зарослей находится в ведении лесхозов, остальные принадлежат различным муниципальным органам. Почти все прибрежные и пойменные заросли относятся к буферной зоне Биосферной территории, где предполагается умеренное использование ресурсов. К сожалению, облепихе в лесоводстве Кыргызстана не было уделено соответствующего внимания. Отсутствие в лесхозах, тем более в местных самоуправлениях правил по уходу и повышению продуктивности естественных зарослей облепихи приводят к тому, что работы по сохранению и восстановлению популяции не проводятся. [3]

Задачи селекции облепихи в различных-климатических зонах страны на ближайший период определены в программе и методике селекции плодовых, ягодных и орехоплодных культур, разработанных Всесоюзным НИИ садоводства им. И.В.Мичурина совместно с коллективами опытных учреждений страны по садоводству.

Н.И.Вавилов указывал, что прежде чем приступить к реализации той или иной селекционной программы, следует знать, имеются ли формы с соответствующими признаками в природе. Первые алтайские сорта, полученные методом аналитической селекции, по комплексу количественных и качественных признаков были близки к лучшим флорам, встречающихся в естественных популяциях. В производственном отношении более ценными следует считать низкорослые сорта и формы облепихи с высотой кроны не более 2 метров, лишённые колючек, с хорошим плодоношением. Н.И.Вавилов и И.В. Мичурин неоднократно подчёркивали, что успех селекционной работы с каждой культурой определяется правильным выбором исходного материала. В селекции облепихи используется исходный материал различного происхождения. Источником почти готовых по многим признакам форм и ценных генов являются естественные популяции дикорастущих облепишников. [4]

## **2. Материалы и методы исследования**

За основу определения запасов сырья была положена методика определения запасов лекарственных растений.

Всесоюзного научно - исследовательского института лекарственных растений (ВЛАР).

Обследования проводились в конце августа и в сентябре 2022 г., маршрутно - рекогносцировочным методом. Отбор участков приводится на основе изучения литературных данных и карт.

Согласно методике в наиболее распространённых растительных сообществах с участием облепихи закладывали пробные площадки для определения запасов сырья с площадью 25-100 м<sup>2</sup>. На каждой учётной площадке проводилась испозольная оценка, оценивались проективное покрытие облепихи возрастной и половой состав и подсчитывалось число женских и плодоносящих кустов. Затем плоды одного куста или определенной части куста или определенной части куста была собраны и взвешены.

Общая площадь произрастания была определена приблизительно или с помощью GP 12 и карт. Одновременно определяли проективное покрытие общего древостоя и видов встречающихся в сообществах.

При оценке экономического значения также уделялось внимание доступности и заболеваниям зарослей и ягод.

По возможности на местах проводилось интервью со сборщиками, заготовителями и жителями, с целью определения объемов заготовок, времени способов заготовки, выявления проблем при оформлении разрешительных документов, выявления конфликтов с другими землепользователями. С целью выявления нынешнего состояния зарослей облепихи объёма сбора плодов и изготовления продуктов и последовательно определение потенциала облепихи неоднократно проводились экспедиции и анализы.

### **Результаты исследования.**

При обследовании естественных насаждений природных популяций облепишников побережья озера Иссык-Куль, нами проводились аналитическая селекция-это выделение из насаждений местных форм естественной дикорастущей популяции облепихи готовых форм растений с ценными хозяйственно-биологическими свойствами (рис. 1).



*Рисунок 1 – Иссык-Кульская без колючая форма облепихи*

Отбор готовых ценных форм в дикорастущих зарослях по их фенотипическим при-

знакам и свойствам, сформировавшимся на основе взаимодействия генотипа с конкретными условиями внешней среды (рис. 2).



*Рисунок 2 – Низкорослые облепиховые заросли Прииссыккуля, 1700 м.н.у.м.*

Отборные формы размножают черенкованием, корнеотпрысками, а затем изучают в

условиях культуры (рис. 3). Этот метод применим лесхозами и опытными станциями, расположенными близко к естественным зарослям.



*Рисунок 3 – Посадка заготовленных одревесневших черенков облепихи*

Обследование проводилось в середине августа 2021 года, маршрутно-рекогносцировочным методом. Отбор участков проводилось на основе изучения литературных данных и карт.

Согласно методике в наиболее распространенных растительных сообществах с участием облепихи закладывали пробные площадки для определения запасов сырья с площадью 25-100 м.кв. На каждой учётной площадке проводилась испозольная-глазомерная оценка, оценивалось проективное покрытие облепихи возрастной и половой состав и подсчитывалось число женских и плодоносящих кустов. Затем плоды одного куста или определённой части куста были собраны и взвешаны.

Общая площадь произрастания была определена приблизительно или с помощью GP-12 и карт. Одновременно определяли проективное покрытие общего древостоя и видов встречающихся в сообществах.

Большая ценность облепихи вызывает необходимость расширения площади возделывания её культурных сортов и отобранных в природе форм, отличающихся крупными плодами на длинных плодоножках, высоким содержанием биологически активных веществ морозоустойчивостью и засухоустойчивостью.

В августе 2021 года научными сотрудниками была проведена научная рекогносцировочное обследование плодоношения облепихи вокруг озера Иссык-Куль. Во время обследования впервые в Кыргызстане нами была обнаружена безколючая форма облепихи крушиновидной в природных популяциях облепихников Иссык-Куля. Безколючие кустарники облепихи были отмечены на карте для дальнейшего научного наблюдения. В настоящее время заготовлены семена и черенки выбранных безколючих форм облепихи для выращивания в тепличных условиях путём получения материнской наследственности в условиях культуры низкорослостью и отсутствием колючек.

**Выводы.** В перспективе, в ходе сортоиспытания, набор сортов для условий Кыргызстана должен быть уточнён, а в природе отобраны местные формы, отличающиеся качествами, необходимыми для высокопродуктивных культурных плантаций.

Наиболее приемлемо для производства размножение облепихи зелеными и одревесневшими черенками.

Эффективность в лесном хозяйстве всегда связана с достижением той или иной цели, которое ставит себе лесное хозяйство в целом или каждое из лесохозяйственных мероприятий в отдельности. Цель лесного хозяйства должна состоять в наиболее эффективном использовании плодов с получением наибольшего чистого дохода.

От лесного хозяйства как отрасли материального производства с многогранным и часто незаменимым характером требуется максимально возможное сохранение, разведение лесов, и повышение их продуктивности. С течением времени все заметнее обнаруживается дефицитность недревесных продуктов леса, которое по значимости зачастую оказываются полезнее древесного сырья. В связи с этим вопросом повышение продуктивности лесов приобретает всевозрастающее значение. Экономическая оценка важна в целях выяснения наилучшего способа выращивания и реализации посадочного материала и ценообразования.

Площадь естественных зарослей облепихи в Иссык-Кульской котловине составляет примерно 5,72 тыс. га с биологическим запасом плодов 2,5 тыс.т при среднем урожае 430 кг/га (Боряев, Пименова, Супрунова, 1977).

Перед учеными и исследователями Кыргызстана имеется большая возможность проведения исследовательских работ по выявлению отбора хозяйственно-ценных форм облепихи путём селекционных работ, а также представляется возможность совместно учеными других дружественных Государств начать работу по выявлению химического состава естественного произрастающих плодов облепихи крушиновидной ценных кыргызстанских форм.

**Список литературы:**

1. А. С. Кулиев, Селекционно-морфологические особенности выращивания облепихи в условиях южного Кыргызстана./ Бишкек, 2011.- с. 123.
2. В.П.Михайловский, Временные рекомендации по выращиванию посадочного материала и созданию плантаций облепихи в Киргизии. //Госкомитет Киргизской ССР по лесному хозяйству, г.Фрунзе, 1983.- с.15.
3. К. Улеманн., А. Казакбаева., З.Х. Сарымсаков, Облепиха крушиновидная - золото Ыссык-Куля/ Изучение запасов продуктов и потенциала.
4. А.Д. Букштынов, Т.Т. Трофимов, Б.С. Ермаков, Облепиха./ Москва, Лесная промышленность, 1985.- с.183.

УДК.662.818

**Сартова Кулумкан Абдыкеримовна,**  
*кандидат химических наук, доцент, старший научный сотрудник*  
**Камбарова Гульнара Бексултановна,**  
*кандидат химических наук, старший научный сотрудник*  
**Сарымсаков Шайдылда,**  
*кандидат химических наук, старший научный сотрудник*

**ИССЛЕДОВАНИЕ СВЯЗУЮЩИХ ВЕЩЕСТВ ДЛЯ БРИКЕТИРОВАНИЯ  
МЕЛКИХ КЛАССОВ УГЛЕЙ КР**

**Сартова Кулумкан Абдыкеримовна,**  
*химия илимдеринин кандидаты, доцент, улук илимий кызматкер*  
**Камбарова Гульнара Бексултановна,**  
*химия илимдеринин кандидаты, улук илимий кызматкер*  
**Сарымсаков Шайдылда,**  
*химия илимдеринин кандидаты, улук илимий кызматкер*  
**КР МАЙДА КЛАССТАГЫ КӨМҮРЛӨРҮН БРИКЕТТӨӨ ҮЧҮН БАЙЛАНЫШТЫРУУЧУ  
ЗАТТАРДЫ ИЗИЛДӨӨ**

**Sartova Kulumkan Abdykerimovna,**  
*Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor, Senior Researcher*  
**Kambarova Gulnara Beksultanovna,**  
*Candidate of Chemical Sciences, Senior Researcher*  
**Sarymsakov Shaidylda,**  
*Candidate of Chemical Sciences, Senior Researcher*

**STUDY OF BINDING SUBSTANCES FOR BRIQUETTING OF SMALL CLASSES OF COALS KR**

*Институт химии и фитотехнологий НАН КР ПКР, Бишкек,  
Кыргызская Республика  
КРП КР УИА Химия жана фитотехнология институту, Бишкек,  
Кыргыз Республикасы  
Institute of Chemistry and Phytotechnology of the NAS KR PKR, Bishkek,  
Kyrgyz Republik*

**Аннотация.** Изучены физико-химические, технологические свойства и элементный состав углей ряда месторождений Кыргызской Республики. Установлено, что угли месторождений Кара-Кече и Ак-Улак в связи с низким содержанием битумов (0,44 % до 1,45 %) и низкими выходами первичной смолы в процессе брикетирования без применения связующих (СВ) веществ брикетироваться не будут. Найдены связующие вещества из местного легкодоступного и дешёвого сырья, позволяющего получать прочные брикеты. Установлены оптимальные параметры процесса брикетирования.

**Ключевые слова:** угольная мелочь, связующие вещества, брикетирование, брикеты, оптимальные параметры, смола, битумы

**Аннотация.** Кыргыз Республикасындагы бир нече жатактагы көмүрлөрдүн физика-химиялык, технологиялык касиеттери жана элементтик курамы изилденди. Кара-Кече жана Ак-Улак кендеринин көмүрүндө битум аз (0,44% дан 1,45%ке чейин) жана баштапкы чайырдын чыгышы аз болгондуктан улам, бириктиргичтерди колдонбой туруп брикет алынбай тургандыгы аныкталды. Байланыштыруучу заттар катары жергиликтүү жеткиликтүү, арзан

чийки заттар табылып, бышык бекем брикеттерди өндүрүүгө мүмкүндүк берди. Брикеттөө процессинин оптималдуу параметрлери түзүлдү.

**Негизги сөздөр:** көмүрдүн майдалары, байланыштыргычтар, брикеттөө, брикеттер, оптималдуу параметрлер, чайыр, битум

**Abstract.** The physicochemical, technological properties, and elemental composition of coal from several deposits in the Kyrgyz Republic were studied. It was established that coal from the Kara-Keche and Ak-Ulak deposits will not briquette without the use of binders. Due to their low bitumen content (0.44% to 1.45%) and low yields of primary resin, coal from the Kara-Keche and Ak-Ulak deposits will not briquette without the use of binders. Binders made from locally available, affordable raw materials were discovered, allowing for the production of durable briquettes. Optimal briquetting process parameters were established.

**Key words:** coal fines, binders, briquetting, briquettes, optimal parameters, resin, bitumen

### Введение

Глобальный спрос на энергию, растущие цены на топливо и инфляция оказывают сильное давление на импорт энергии из развивающихся стран. Наблюдается интерес к технологии брикетирования угля [1] как к источнику бытового и промышленного топлива [2] из-за резкого роста цен на нефть. Брикеты являются лучшим топливом, чем сырой уголь, благодаря своим улучшенным механическим и термическим свойствам [3].

Одним из существенных недостатков угольной промышленности Кыргызской Республики является высокий выход мелочи и штыбов, составляющих более 50% в суммарной добыче углей, которые все меньше находят практическое применение и получение из них кускового топлива представляет эколого-экономический интерес [4].

Ввиду того, что наши угли относятся к неспекающимися и непластичным углям, к тому же с низким содержанием битумов и первичной смолы брикетирование их без связующих невозможно.

Содержание битумов в углях разрабатываемых месторождений Кыргызстана очень низкое (0,3-0,8%), а выход первичной смолы процесса полукоксования также невысокий (0,96-10,6%). В связи с низким содержанием битумов и первичной смолы, мелкие классы углей месторождений Кыргызстана не поддаются брикетированию без применения связующих веществ (СВ).

Вследствие этого нами была изучена возможность получения брикетов из угольной мелочи с использованием связующих из растительного сырья и отходов различных предприятий.

В качестве СВ для брикетирования угольной мелочи широко применяются каменноугольной пек, нефтяные битумы, сульфолгнны бумажной промышленности, смеси сахаров (моно-ди-олигосахариды), парафины, силиконовые масла и др. [5-6].

Эти вещества для нашей Республики являются дефицитными и труднодоступными. Поэтому поиск дешевых и экологически чистых СВ из местных источников сырья является **актуальной задачей**.

Утилизация мало востребованных классов углей различных марок (отсевы, шламы и т.п.), являющихся фактически отходами угледобычи и углеобогащения, становится острой проблемой в районах производства и потребления угля. Проблема решается при производстве брикетированного угля [7].

Поэтому перед нами поставлена цель нахождения легкодоступных и недорогих связующих, которыми могут стать отходы ряда промышленных предприятий, а также растительное сырье.

**Объекты и методы исследования.** Объектом исследования являлись угли месторождения Жыргалан, Кызыл-Кия, Кара-Кече, Ак-Улак, Согуты, Сулюкты, Кашка-Су Кыргызской Республики, а также продукты пиролиза – смола, карбонизат, растительные остатки- листья, стебли, каолин, картоны, изношенные резиновые камеры, опилки.

### Методы исследования

Методы брикетирования:

Брикетированию подвергались угли со степенью измельчения < 1 мм. Уголь и связующие вещества тщательно перемешивали до получения однородной массы. Шихту загружали в пресс-форму и

прессовали под давлением 150-1500 кг/см<sup>2</sup>. Полученные брикеты высушивали на воздухе при комнатной температуре. Затем готовые брикеты испытывали на прочность, на сжатие и на сбрасывание, влагопоглощение.

**Механическая прочность на сбрасывание.** Для определения механической прочности брикетов при испытании сбрасыванием целые брикеты, предварительно взвешенные, загружали в контейнер с открывающимся дном и помещали его над металлической плитой на высоте 1,5-2 м и сбрасывали брикеты на плиту. После четвертого сбрасывания испытываемые брикеты и их куски собирали и подвергали рассеву аналогично как при испытании на истирание. Оставшиеся на сите мелочь брикеты собирали в контейнер и взвешивали.

**Механическая прочность на сжатие.** Механическая прочность на сжатие важна, так как брикеты подвергаются различным видам механических нагрузок во время транспортировки, складирования и использования, и они должны сохранять свою целостность. Метод заключается в сжатии брикета под действием силы и фиксации момента его разрушения. Это позволяет оценить надежность брикетов при транспортировке и хранении.

**Водостойкость брикетов** оценивали приростом массы брикетов в процентах после 2 и 24 часов пребывания под водой.

#### Обсуждение полученных результатов.

Из разрабатываемых месторождений

Кыргызской Республики в Кызыл-Кия, Сулюкта, Согуты, Алмалык, Кара-Кече, Ак-Улак добываются плотные бурые угли марки БЗ. Месторождение угля Ак-Улак, как и Кара-Кечинский уголь относится к Кавакскому бурогольному бассейну. Однако Ак-Улакский уголь более обуглероженный и высококалорийный. Выход первичной смолы в 2,5 раза (5,55%) выше по сравнению с Кара-Кечинским углем.

Выбор углей месторождений Кара-Кече и Ак-Улак в качестве объекта исследования обусловлен, во-первых, в настоящее время разрабатывается открытым карьерным способом, во-вторых, геологическим запасом - Кавакский бурогольный бассейн считается самым перспективным.

Исследуемая проба Кызыл-Кийского угля является со средней зольностью, выход первичной смолы достигает 7,5%, что делает возможным получение брикетов из него без добавления связующих веществ, используя процесс термобрикетирования.

Исследуемая проба угля месторождения Жыргалан относится к длиннопламенным углям марки Д. Уголь высококалорийный, с высоким выходом первичной смолы (10,65%), что позволяет брикетировать его без добавлений связующих веществ.

**На первом этапе исследования** изучены технические и физико-химические характеристики углей месторождений Жыргалан, Кызыл-Кия, Кара-Кече и Ак-Улак, Согуты Кыргызской Республики (табл. 1-3).

Месторождение углей	Содержание, daf %					
	Марка угля	W <sup>a</sup>	A <sup>d</sup>	B <sup>d</sup>	V <sup>daf</sup>	Q <sup>daf</sup> Ккал/кг
Кара-Кече	Б	11,58	10,14	0,44	37,45	7275
Агулак	Б	9,26	4,24	0,75	36,11	7395
Кызыл-Кия	Б	9,68	15,25	1,31	37,92	7100
Согуты	Б	8,57	14,53	0,42	41,86	7131
Жыргалан	Д	3,66	11,47	1,45	38,93	7500

Таблица 2. Элементный анализ углей

Месторождение	В процентах на daf				
	C <sup>daf</sup>	H <sup>daf</sup>	N <sup>daf</sup>	S <sup>daf</sup>	O (по разность)
Кара-Кече	78,38	4,84	1,38	1,31	14,09
Агулак	78,19	4,12	1,14	1,32	15,23
Кызыл-Кия	77,86	4,35	1,17	1,71	14,91
Жыргалан	80,58	5,12	1,23	1,33	11,74
Согуты	76,74	4,33	1,21	0,82	16,90

**Таблица 3. Выход продуктов пиролиза углей**

Месторождение угля	Тем-ра процесса °C	Выход карбониз %	Выход жидк. конд, %	Газ+потери, %
Жыргалан	500	77,53	12,52	9,95
Кара-Кече	500	80,09	5,57	14,34
Кашка-Суу	500	70,53	22,15	7,32
Согуты	500	67,46	14,74	17,80
Ак-Улак	500	86,83	4,24	8,93
Кызыл-Кия	500	82,64	7,52	9,84

Как видно из таблицы 1, 3 выход первичной смолы в углях Кавакского бурогоугольного бассейна невелик от 2,2 % до 5,5 %, а битумов от 0,44 до 1,45 %. В углях Кызыл-Кия и Жыргалан выходы первичной смолы составляют 7,5 % и 10,65 % соответственно. Следовательно, угли месторождений Кара-Кече и Ак-Улак в связи с низким содержанием битумов (0,44 % до 1,45 %) и низкими выходами первичной смолы в процессе полукоксования не будут спекаться и брикетироваться без применения дополнительного количества связующих веществ.

Из проведенных исследований установлено, что брикеты, полученные из этих углей при давлении прессования 150-300 кг/см<sup>2</sup> без добавления связующих веществ рассы-

паются сразу, а образовавшиеся брикеты при более высоких давлениях прессования (500-1000 кг/см<sup>2</sup>) разрушаются при легком нажатии.

#### **Характеристика связующих веществ**

В качестве связующих были испытаны следующие дешевые и легкодоступные материалы: каолин (пропласт угольного пласта на месторождении Кара-Кече), опавшие с деревьев сухие листья.

**Каолин** - встречается между угольными пластами на угольном карьере Кара-Кече. При добыче угля пласт каолина идет в отвал. Поэтому он является легкодоступным и дешевым сырьем. Химический состав каолина приведен в табл. 4.

**Таблица 4. Химический состав каолина**

Образец	Содержание основных компонентов, %					
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	(Na,K) <sub>2</sub> O
Каолин	47-53	32-38	0,3-0,8	Следы-0,5	0,1-1	0,2-3,5

Нами использованы в качестве связующих веществ сухие листья опавшие с деревьев, характеристика которых приведена в табл. 5.

**Таблица 5. Технический и химический состав листьев**

Образец	Технический анализ % на daf				Элементный состав % на daf				
	W <sup>a</sup>	A <sup>d</sup>	V <sub>c</sub> <sup>d</sup>	B <sub>c</sub> <sup>d</sup>	C	H	N	S	O
Опавшие листья	7,31	7,12	74,2	3,57	48,91	6,97	2,15	1,28	40,69

Угли месторождений Жыргалан и Кызыл-Кия имеют выход первичной смолы в пределах 7,5-12%, что является более высоким по сравнению с углями месторождений Ак-Улак и Кара-Кече. Поэтому, возможно получение угольных брикетов из этих углей без добавления связующих веществ, исполь-

зуя метод термобрикетирования.

#### **Методы термобрикетирования без добавления связующих веществ**

В последние годы особое внимание уделено разработке технологии производства термобрикетного топлива. Смола полукоксования, частично удаляемая в процессе термобрикетирования, служит

связующим при образовании брикетов, при этом происходит физическая пластификация зерен угля и химическое взаимодействие.

Сущность метода сводится к тому, что шихта для брикетирования нагревается до

определенной температуры (нагрев проводили при температуре 165°C). При нагреве угля до 165°C и давлении прессования 1000 кг/см<sup>2</sup> брикеты достигали прочности на сжатие 40-50 кг/см<sup>2</sup>. Результаты брикетирования приведены в табл. 6.

**Таблица 6. Результаты брикетирования**

Место-рождения углей	Соотношение компонентов			Связующее	Давление прессования, кг/см <sup>2</sup>	Прочность на	
	уголь	связующее	вода			сжатие кг/см <sup>2</sup>	Сбрасывание, М
Кара-Кече	8	1	1	Листья	150	350	2
Кара-Кече	7	2	1	Листья	500	13	-
Кара-Кече	8	2	-	Листья	200	180	1,5
Кара-Кече	5	4/1	-	Листья/каолин	200	250	2
Кара-Кече	10	1/1	1	Листья/каолин	200	150	1
<b>Термобрикетирование</b>							
Кызыл-Кия	10	-	-	-	1000(165°C)	40	1,5
Кызыл-Кия	10	1/1	1	Каолин/листья	1000	150	1,5
Жыргалан	10	-	-	-	1000(165°C)	50	1,5
Жыргалан	7	1/1	1	Каолин/листья	1000	100	1,5

Хорошие прочные брикеты получились на ручных гидравлических прессах при невысоком давлении прессования со связующими веществами (листья) при соотношении **8:1:1**, где прочность на сжатие достигала 350 кг/см<sup>2</sup>. Также прочные брикеты получились при давлении (200 кг/см<sup>2</sup>) со смешанными связующими веществами: уголь: каолин : листья (**5:1:4; 10:1:1**) где прочность на сжатие была от 150 до 250 кг/см<sup>2</sup>, а на сбрасывание более 1,5 м.

Показано, что при введении в состав смолы дополнительных компонентов – каолина и древесных опилок, механическая прочность брикетов увеличивается.

**Следующим этапом работы** было нахождение связующих - смол из древесных отходов и резиновых изделий, полученных путем их пиролиза, т. е. термическим разрушением их органической массы.

**Пиролиз древесных отходов и изношенных резиновых камер**

Пиролиз проводили без доступа воздуха. Степень измельчения исходного сырья 5-6 мм в диаметре и 15-25 мм в длине. Скорость нагрева 10°C/мин. Конечная температура 500°C. При достижении конечной температуры процесс выдерживали в течение 30 мин. В процессе пиролиза образуется три вида продуктов разложения – карбонизат, жидкий конденсат и газ. Выход жидкого конденсата из древесных отходов, интересующего нас как связующее вещество, высокий и в среднем составляют 51,5 % на сухую массу древесины.

Жидкий конденсат в суммарном составе испытали в качестве связующего вещества. Образовавшиеся брикеты разрушались на воздухе, что, по-видимому, связано с присутствием легкокипящих фракций в составе конденсата. Поэтому, жидкий конденсат подвергался фракционной перегонке при атмосферном давлении. При этом было получено 6 фракций с

температурами кипения 30-35, 55-65, 70-100, 130-150, 200-220<sup>0</sup>С и густой веский остаток, выход которого составил - 46,7 % от общей массы жидкого конденсата. Фракции с 1 по 5 – жидкие углеводороды, в основном насыщенные. Фракция 6 (> 220<sup>0</sup>С) - липкая, тягучая масса, которую использовали

в качестве связующего вещества для брикетирования угольной мелочи, как в индивидуальном виде, так и с добавлением других компонентов. Результаты брикетирования со связующими из отходов древесной и резиновой промышленности приведены в табл. 7.

Таблица 7.

Характеристика угольных брикетов, полученных с использованием смолы

Связующее	Соотношение компонентов в шихте			Давление прес-со-ва-ния кг/см <sup>2</sup>	Прочность на		Тер-мо-у-стой-чи-вос-ть	Водо-у-стойчи-вос-ть %
	уголь	смола	као-лин		сжа-тие кг/см <sup>2</sup>	сбра-сыва-ние, М		
Смола древесных стружек	8	2	-	100	48	>	Форма брикета сохраняется	3,2
Смола древесных стружек + каолин	7	2	1	100	52	>	-//-	3,08
Смола резиновой камеры	9	1	-	80	175	>	-//-	-
Смола резиновой камеры + каолин	8	1	1	80	280	>	-//-	-
Смола резиновой камеры + древесные опилки	8	1	1	80	300	>	-//-	-

При использовании смолы из резиновой камеры получают прочные угольные брикеты. Введение в состав шихты дополнительных компонентов (каолин, древесные опилки) еще более усиливается прочность брикетов на сжатие, особенно при введении древесных опилок.

Были изучены возможности получения угольных брикетов путем введения в состав шихты таких распространенных отходов, как бумажные картоны, листья, известковое молочко, цемент, глина, жидкое стекло с одновременным изменением давления прессования и степени измельчения.

Более прочные брикеты получены с добавкой сухого цемента из расчета 1% к общей массе угольной шихты, где при давлении прессования 150, 250, 500 кг/см<sup>2</sup>. Оптимальное давление прессования при этом 250 кг/см<sup>2</sup>. Но брикеты получились не водостойчивы, при термообработке они не сохраняли формы.

При введении в шихту жидкого стекла образуются более прочные брикеты. При соотношении уголь: жидкое стекло (10:1) прочность брикета на сжатие достигает 84 кг/см<sup>2</sup>, а при увеличении давления прессования до 180 кг/см<sup>2</sup> прочность угольного брикета на сжатие достигает до 200 кг/см<sup>2</sup>.

### Изучение давления прессования

Изучено влияние давления прессования на качество образовавшихся угольных брикетов. При проведении этих экспериментов менялись только давление прессования, а

соотношение компонентов массы, составляющих шихту для брикетирования, степень измельчения угля оставались постоянными во всех опытах. Полученные результаты экспериментальных исследований приведены табл. 8.

**Таблица 8**  
**Изменение характеристики угольных брикетов с ростом степени давления прессования**

Степень измельчения, мм.	Соотношение компонентов в шихте				Давление прессования, кг/см <sup>2</sup>	Прочность на	
	уголь	глина	Н.О	картон		сжатие, кг/см <sup>2</sup>	сбрасыв, М
0,5	10	1	1	0,25	5	Разруш.	-
0,5	10	1	1	0,25	150	14,6	>
0,5	10	1	1	0,25	250	19,8	1
0,5	10	1	1	0,25	500	28,3	1,5
0,5	10	1	1	0,25	750	30,8	1,5
0,5	10	1	1	0,25	1000	31,2	1,5

Увеличение давления прессования оказывает определенное положительное влияние на качество образовавшегося брикета, т. е. увеличивает прочность на сжатие и на сбрасывание. Прочность угольного брикета растёт до давления прессования 500 кг/см<sup>2</sup>, а дальнейшее повышение давления не оказывает заметного роста на прочность брикета. Брикеты характеризуются высокой теплотворной способностью (6990 ккал/кг), имеют низкий выход летучих веществ и незначительное содержание кислорода.

### Выводы

1. Исследованы физико-химические характеристики угля месторождений Кыргызстана. Показано, что угли м. Кара-Кече и Ак-Улак без связующих веществ брикетироваться не могут, а из углей м. Кызыл-Кия и Жыргалан возможно получение брикетов путем горячего прессования.

2. Найдены связующие вещества из легкодоступного и дешевого сырья - каолин, смолы древесных отходов, листья опавшие, изношенные резины, опилки, картоны и др.

3. Подобраны оптимальные режимы брикетирования со связующими веществами - уголь: каолин: листья (10:1:1; 5:4:1), где прочность на сжатие достигает от 150-250 кг/см<sup>2</sup>.

4. Прочные угольные брикеты получают при добавлении смолы из резиновой камеры при относительно невысоком давлении 80 кг/см<sup>2</sup>, а введение в состав шихты дополнительных компонентов усиливает прочность брикетов на сжатие от 175-300 кг/см<sup>2</sup>.

5. Оптимальным режимом для термобрикетирования углей является давление прессования 800 кг/см<sup>2</sup>, температура нагрева шихты 165<sup>o</sup>C, крупность угля не более 1,0 мм.

### Список литературы:

1. Bajwa, D.S.; Peterson, T.; Sharma, N.; Shojaeiarani, J.; Bajwa, S.G. A review of densified solid biomass for energy production. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2018, 96, 296–305. [CrossRef];
2. Fajfrlíková, P.; Brunerová, A.; Roubík, H. Analyses of waste treatment in rural areas of east java with the possibility of low-pressure briquetting press application. *Sustainability* 2020, 12, 8153. [CrossRef];
3. Zhang, G.; Sun, Y.; Xu, Y. Review of briquette binders and briquetting mechanism. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2018, 82, 477–487. [CrossRef];
4. Камбарова Г. Б., Литвиненко Т.А., Сарымсаков Ш.С., Сартова К.А. Брикетирование - как один из способов улучшения экологической обстановки регионов// Вестник КГПУ им. И.Арабаева. - Материалы междунар. практич. конферен, посвящ. 50-летию КГПУ -2002. - С.45-474;

5. Литвин Е.М. Новые связующие и пути дальнейшего совершенствования процессов брикетирования углеродистых материалов //Кокс и химия. 1991. – №3. – С. 21-23.;
6. Скрипник Е. А., Патапова Т.Н. Исследование свойств связующего для брикетирования угольной шихты //Кокс и химия. – 1992. – №2. С.8-20;
7. Сухомлинов Д.В., Кусков Е.Б., Кускова Я.В. Получение каменноугольных брикетов с низкой температурой воспламенения //Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал ) 2013. No 5. 20 с. М.: Издательство «Горная книга».

## **2-СЕКЦИЯ**

УДК 629

**Абидов Абдыкадыр Омарович**<sup>1</sup>,  
*доктор технических наук, профессор*  
**Адилов Окбута Каримович**<sup>2</sup>,  
*кандидат технических наук, профессор*  
**Джумабаев Шахзод Шавкатович**<sup>3</sup>,  
*соискатель*  
**Артыкбаев Мунарбек Туратбаевич**<sup>4</sup>,  
*PhD докторант*

#### МЕТОДЫ РАСЧЕТА МАСЛОУЛОВИТЕЛЕЙ

**Абидов Абдыкадыр Омарович**<sup>1</sup>,  
*техника илиминин доктору, профессор*  
**Адилов Окбута Каримович**<sup>2</sup>,  
*техника илиминин кандидаты, профессор*  
**Джумабаев Шахзод Шавкатович**<sup>3</sup>,  
*изденүүчү*  
**Артыкбаев Мунарбек Туратбаевич**<sup>4</sup>,  
*PhD докторант*

#### МАЙ КЫПКАНДАРЫН ЭСЕП АЛУУНУН МЕТОДДОРУ

**Abidov Abdykadyr Omarovich**<sup>1</sup>,  
*Doctor of Technical Sciences, Professor*  
**Adilov Okbuta Karimovich**<sup>2</sup>,  
*Candidate of Technical Sciences, Professor*  
**Dzhumabaev Shakhzod Shavkatovich**<sup>3</sup>,  
*Applicant*  
**Artykbaev Munarbek Turatbaevich**<sup>4</sup>,  
*PhD doctoral student*

#### METHODS FOR CALCULATION OF OIL TRAPS

<sup>1</sup>*Институт природных ресурсов им. А.С. Джаманбаева ЮО НАН КР ПКР,  
Ош, Кыргызская Республика*

<sup>2</sup>*Джиззакский политехнический институт, Джиззак, Республика Узбекистан*

<sup>3</sup>*Каршинский государственный технический университет, Карши, Республика Узбекистан*

<sup>4</sup>*Ошский технологический университет им. М.М. Адышева, Ош, Кыргызская Республика*

<sup>1</sup>*КРП КР УИА ТБ А.С. Джаманбаев ат. Жаратылыш байлыктары институту,  
Ош, Кыргыз Республикасы*

<sup>2</sup>*Джиззак политехникалык институту, Джиззак, Өзбекстан Республикасы*

<sup>3</sup>*Карши мамлекеттик техникалык университети, Карши, Өзбекстан Республикасы*

<sup>4</sup>*М.М. Адышев ат. Ош технологиялык университети, Ош, Кыргыз Республикасы*

<sup>1</sup>*Institute of Natural Resources named after A.S. Dzhamanbaev SB NAS KR PKR,  
Osh, Kyrgyz Republic*

<sup>2</sup>*Jizzakh Polytechnic Institute, Jizzakh, Republic of Uzbekistan*

<sup>3</sup>*Karshi State Technical University, Karshi, Republic of Uzbekistan*

<sup>4</sup>*Osh Technological University named after M.M. Adysheva, Osh, Kyrgyz Republic*

**Аннотация.** В этой статье приведена разработка методических рекомендаций и применения их результатов в производство в целях усовершенствования экологического безопасности движения автомобильного транспорта.

**Ключевые слова:** транспорт, транспортные задачи, экологические математические задачи, вредные вещества.

**Аннотация.** Бул макалада автотранспорттун экологиялык коопсуздугун жогорулатуу максатында методикалык сунуштарды иштеп чыгуу жана алардын натыйжаларын өндүрүштө колдонуу каралган.

**Ачык сөздөр:** транспорт, транспорт проблемалары, экологиялык математика проблемалары, зыяндуу заттар.

**Abstract.** The main recommendations of this article mainly analyzing the rate of harmful elements the period of exploitation of the automobile implements and its services to develop activity of automobile implements of the exploitation period.

**Key words:** transport, transport problems, the ecological mathematical problems, harmful substance.

В процессе отстаивания взвешенные загрязняющие материалы отделяются от воды без добавления каких – либо химических веществ, исключительно под действием разницы в плотности. Механическим путём может быть удалена наибольшая часть загрязняющих веществ.

Скорость оседания частиц можно определить при помощи формулы Стокса

$$\omega = \frac{gd^2(\gamma_1 - \gamma)}{18\mu}$$

где  $\omega$  – скорость оседания или всплытия, см/с;

$g$  – ускорение свободного падения, см/с<sup>2</sup>;

$d$  – минимальный размер частиц вещества, подлежащих извлечению, см;

$\gamma_1$  – плотность оседающего вещества, г/см<sup>3</sup>;

$\gamma$  – плотность воды, г/см<sup>3</sup>;

$\mu$  – динамическая вязкость отработанной воды, г/см · с.

Если в числителе формулы Стокса разница между плотностью оседающего вещества и плотностью отработанной воды будет иметь знак минус, то направление вектора скорости  $\omega$  изменится на противоположное. Таким образом, формула служит для определения не только скорости оседания, но и скорости всплытия.

Для определения скорости всплытия  $\omega$  масляного загрязнения были установлены различные зависимости (Карелина, Мон-

гайта, Роуза, Кемпа, Вагаша и др.):

$$\omega = \frac{gd^2(\gamma_v - \gamma_0)}{18\mu\varphi};$$

Монгайт:

$$\omega = \frac{gd^2(\gamma_v - \gamma_0)}{18} \quad \text{или}$$

$$\omega = \alpha \cdot 10^{0,0143d} \mu (112 - 93\gamma_0)$$

(на основе экспериментальных данных);

$$\text{API:} \quad \omega = 0,0122 \frac{\gamma_v - \gamma_0}{\mu};$$

где  $\omega$  – скорость всплытия, см/с;

$g$  – ускорение свободного падения, см/с<sup>2</sup>;

$d$  – минимальный размер частиц вещества, подлежащих извлечению, см;

$\gamma_v$  – плотность замасленной отработанной воды, г/см<sup>3</sup>;

$\gamma_0$  – плотность масляного загрязнения, подлежащего извлечению, г/см<sup>3</sup>;

$\mu$  – динамическая вязкость отработанной воды, г/см;

$\varphi$  – коэффициент неоднородности жидкости, находящейся в резервуаре;

$\alpha = 0,015 \frac{K_0}{K_m} + 0,875$  (на основе экспериментальных данных);

$K_0$  – концентрация масла в отработавшей воде, мг/л;

$K_m$  – концентрация механического за-

грязнения в отработавшей воде, мг/л;

Для определения скорости всплытия в практике проектирования могут быть непосредственно использованы данные рис. 1. Для определения зависимости между скоростью оседания частиц грязи и их диаметром можно воспользоваться данными стандарта MSZ 15302 – 53R:

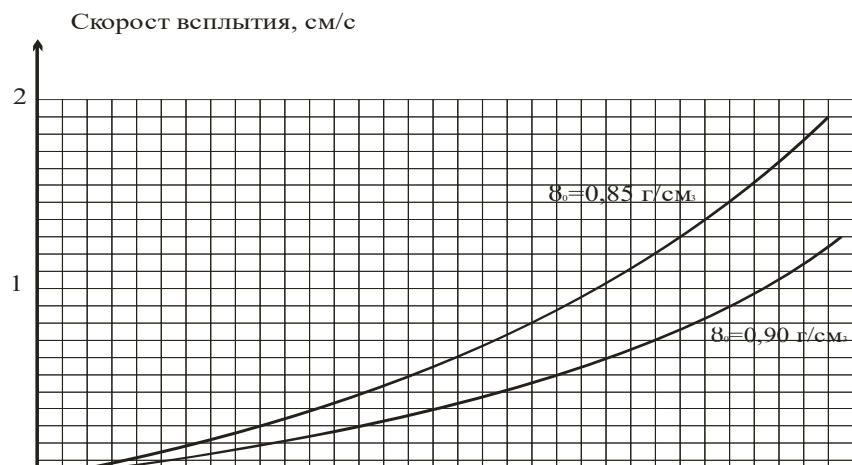


Рис. 1. Графики скорости всплытия по Карелину

Диаметр частиц, мм	1,0	0,5	0,2	0,1	0,05	0,001	0,005
Скорость оседания частиц грязи, мм/с	140	71,5	22,5	6,7	1,7	0,083	0,0166

Разработанная на основе характеристик отработавшей воды технология очистки определяет соединение очистительных сооружений друг с другом, их размещение, способ и периодичность удаления излеченных загрязняющих веществ (грязи, масла). При определении фактических размеров сооружения следует исходить из следующих условий:

- скорость потока не должна приводить в движение уже осевшие частицы:  
 $v = 10$  мм / с;
- поток внутри сооружения должен быть параллельно струйным;
- концентрация и температура взвешенных веществ по всему сечению потока должны быть одинаковы;
- отношение глубины отстойника  $h$  к его ширине  $B$  должно быть  $h/B = 0,3 - 0,5$ .

При определении длины отстойника различными методами за основу расчетов всегда принимается один и тот же принцип: за время протекания частица определенного размера должна осесть или всплыть.

Полезную длину  $l$  отстойника определяют по формуле Карелина

$$l = \frac{vh}{\omega}$$

где  $v$  – скорость горизонтального отекания, см/с;

$h$  – полезная глубина сооружения, см;

$\omega$  – скорость всплытия или оседания частицы определенного размера, см/с;

Исследователи Американского института нефти дополнили эту формулу коэффициентом проектирования  $\epsilon$ :

$$l = \varepsilon \frac{vh}{\omega}$$

Величина  $\varepsilon$  зависит от гидравлического устройства отстойника и в каждом случае определяется путём моделирования. Величина его больше 1. Значение его не может быть дано даже приблизительно. Надежной основой расчёта может служить разработанный в 2011 г. Отраслевой стандарт, в соответствии с которым время протекания должно быть в 2 – 3 раза больше времени, необходимого для всплытия или оседания частиц:

$$T_{\dot{a}} = nT_{\ddot{u}}$$

где  $T_{\dot{a}}$  - время протекания, с;  
 $T_{\ddot{u}}$  - время всплытия или оседания, с;  
 $n$  - коэффициент надежности; рекомендуемая величина – 2-3.

Наиболее точно длину отстойника можно определить по методу проф. Великанова. Этот метод при помощи коэффициента

коррекции  $w$  предполагает также учёт эффективности очистки (таб.1). Под эффективностью очистки понимается процентное соотношение осевшего количества и общего количества загрязняющего вещества, принадлежащего к одной и той же фракции.

По Великанову необходимая длина отстойника

$$l = \frac{m}{n} \cdot \frac{\sqrt{m^2 + v^2 w^2 h^2} + c}{\omega};$$

где  $l$  - необходимая длина отстойника, м;  
 $w$  - коэффициент коррекции (см. табл.43)  
 $v$  - скорость горизонтального протекания, мм/см;  
 $h$  - глубина отстойника, м;  
 $\omega$  - скорость оседания частиц данного вещества, мм/с.

Скорость горизонтального протекания целесообразно принять равной 10 мм/с.

Таблица 1

**Коэффициент коррекции, зависящий от эффективности очистки**

%	w	%	w	%	w	%	w	%	w
2	- 1,5	20	- 0,6	44	- 0,1	72	0,4	90	0,9
8	- 1,0	24	- 0,5	50	0,0	76	0,5	92	1,0
10	- 0,9	28	- 0,4	56	0,1	80	0,6	98	1,5
13	- 0,8	34	- 0,3	61	0,2	84	0,7		
16	- 0,7	39	- 0,2	66	0,3	87	0,8		

Определение ширины (см) отстойника по Карелину:

$$B = \frac{2 \cdot 10^3 Q}{\gamma R_e} - h'$$

где  $Q$  - сток отработавшей воды, л/с;  
 $\gamma$  - кинематическая вязкость воды, см<sup>2</sup>/с;  
 $h'$  - полезная глубина отстойника, см;

$R_e$  - число Рейнольдса, для определения которого следует воспользоваться специальной литературой, для приближенных расчетов можно взять величину  $R_e = 2300$ , обеспечивающую параллельно – струйное протекание.

При определении размеров грязи сборника можно воспользоваться следующими данными относительно количества образу-

ющейся грязи: мойка кузова – 4 л/авт, мойка автомобиля – 15 л/авт. Грязесборник должен быть рассчитан на хранение по меньшей мере 10 – дневного запаса грязи.

Грязи и маслоочистительное сооружение следует расположить так, чтобы труба, подводящая неочищенную воду, была как можно короче. На этом участке не должно быть изменений направления, а если это неизбежно, то необходимо обеспечить возможность в любое время быстро устранить засорение в месте излома. Минимальный уклон трубы должен равняться 10 ‰.

Помимо определения размеров очистного сооружения, следует продумать также его гидравлическое устройство. Для достижения параллельно – струйного протекания нужно обеспечить равномерное распределение поступающей воды по всему сечению отстойника. Направляющие стенки, водосливные желоба, сепарирующие устройства следует выполнить так, чтобы они не вызывали турбуленции и не препятствовали обслуживанию и очистке сооружения. Направляющие стенки должны быть опущены в воду по меньшей мере на 25 см. Нагрузка на край водослива не должна превышать 1,5 л/с/м. Тип грязи сборника зависит от способа извлечения грязи. Если выемка грязи производится выкачиванием, то в грязи сборнике целесообразно выполнить зумпф или зумпфы с минимальным уклоном поверхностей 1:5. При выемке грязи вычерпыванием дно может быть плоским. Железобетонную конструкцию необходимо защитить слоем износа толщиной 10 – 15 см.

После расчета размеров отстойника их корректирует с точки зрения условий эксплуатации. Целесообразно разделить резервуар при помощи забральной стенки на две камеры. Первая часть резервуара переназначена для отстоя грязи и первичной маслоочистки. В ней задерживают твердые вещества с зернистостью до 0,05 мм и частицы масла диаметром до 0,1 мм

Определения ширины отстойника:

1 – оптимальный диапазон

$$B = \frac{2 \cdot 10^3 Q}{\gamma R_e} - h'$$

$$\frac{h}{B} = 0,3 - 0,5; \quad d = 100; \quad v = 10 \text{ мм/с};$$

Определение ширины отстойника:

$$1 - d = 100 \mu;$$

$$\omega = 0,05 \text{ см/с}$$

$$2 - d = 150 \mu;$$

$$\omega = 0,111 \text{ см/с}$$

$$3 - d = 200 \mu;$$

$$\omega = 0,197 \text{ см/с};$$

$$l = \frac{vh}{\omega}, \quad v_0 = 10 \text{ мм/с};$$

Поскольку наибольшая часть грязевого загрязнения оседает в этой части отстойника, то именно здесь следует предусмотреть выемку грязи. Вторая часть сооружения предназначена для задержания коллоидных частиц грязи и поддающегося флотации масляного загрязнения. Всплывающее масло следует снимать с поверхности обеих частей резервуара и направлять в сборный колодец. Всплывшее на поверхность масло ручным или механическим путем направляют к порогу сепарирующего водослива. Для карликовых и малых станций обслуживания очистное сооружение рекомендуется выполнять в соответствии с показателем расчета.

Экспериментальные данные показывают, что при помощи флотационных очистителей можно добиться только такой степени очистки, которая позволяет спускать очищенную воду в канализационную сеть. В случае отвода воды в естественный водоем или повторного ее использования необходима дополнительная очистка.

**Список литературы:**

1. Ш.М. Мирзиёев Ўзбекистон Республикаси автомобиль транспорти агентлиги ходимлари билан бўлиб ўтган маърузаси. 2018 йил 28 август. Жиззах ш ИИБ ЙХХБ статистик макълумотлари 2020 й.
2. А.А.Мухитдинов, О.К.Адилов ва бошқалар. Автомобилларнинг эксплуатацион хусусиятлар назарияси. Тошкент. "Адолат", 2018.-262б.
3. Базаров Б.И. Экологическая безопасность автотранспортных средств. Ташкент. Издательский центр «CHINOR ENK», 2012
4. Адилов О Автотранспорт корхоналарида ҳаракат хавфсизлиги хизматини такомиллаштириш. Тошкент. "Наврўз". 2015- 122б
5. КаюмовБ.А., ГиясовШ.И. Обеспечение экологической безопасности автотранспортных средств, *Международный научный журнал «ВЕСТНИК НАУКИ» № 10 (43) Том 2*
6. О.К Адилов, АУ Уролбоев Оценка эффективности работ по техническому обслуживанию автотранспортных средств , - Вестник науки, 2021

УДК 629.039.58

**Абидов Абдыкадыр Омарович<sup>1</sup>,**  
*доктор технических наук, профессор*  
**Адилов Окбута Каримович<sup>2</sup>,**  
*кандидат технических наук, профессор*  
**Мирзаев Дилшод Уралович<sup>3</sup>,**  
*соискатель*  
**Еtimiшев Рустам Ибрагимович<sup>4</sup>,**  
*магистрант*

### МЕРОПРИЯТИЯ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ БЕЗОПАСНОСТИ И ЭКОЛОГИЧНОСТИ В СЕРВИС-НОМ ЦЕНТРЕ

**Абидов Абдыкадыр Омарович<sup>1</sup>,**  
*техника илиминин доктору, профессор*  
**Адилов Окбута Каримович<sup>2</sup>,**  
*техника илиминин кандидаты, профессор*  
**Мирзаев Дилшод Уралович<sup>3</sup>,**  
*изденүүчү*  
**Еtimiшев Рустам Ибрагимович<sup>4</sup>,**  
*магистрант*

### ТЕЙЛӨӨ БОРБОРУНДАГЫ КООПСУЗДУК ЖАНА ЭКОЛОГИЯ БОЮНЧА ИШ-ЧАРАЛАР

**Abidov Abdykadyr Omarovich<sup>1</sup>,**  
*Doctor of Technical Sciences, Professor*  
**Adilov Okbuta Karimovich<sup>2</sup>,**  
*Candidate of technical sciences, professor*  
**Mirzaev Dilshod Uralovich<sup>3</sup>,**  
*applicant*  
**Etimishev Rustam Ibragimovich<sup>4</sup>,**  
*master's student*

### SAFETY AND ENVIRONMENTAL FRIENDLINESS MEASURES AT THE SERVICE CENTER

<sup>1</sup>*Институт природных ресурсов им. А.С. Джаманбаева ЮО НАН КР ПКР,  
Ош, Кыргызская Республика*

<sup>2</sup>*Джиззакский политехнический институт, Джиззак, Республика Узбекистан*

<sup>3</sup>*Джиззакский государственный педагогический университет, Джиззак, Республика Узбекистан*

<sup>4</sup>*Ошский технологический университет им. М.М. Адышева, Ош, Кыргызская Республика*

<sup>1</sup>*КРП КР УИА ТБ А.С. Джаманбаев ат. Жаратылыш байлыктары институту,  
Ош, Кыргыз Республикасы*

<sup>2</sup>*Джиззак политехникалык институту, Джиззак, Өзбекстан Республикасы*

<sup>3</sup>*Джиззак мамлекеттик педагогикалык университети,  
Джиззак, Өзбекстан Республикасы*

<sup>4</sup>*М.М. Адышев ат. Ош технологиялык университети, Ош, Кыргыз Республикасы*

<sup>1</sup>*Institute of Natural Resources named after A.S. Dzhamanbaev SB NAS KR PKR,  
Osh, Kyrgyz Republic*

<sup>2</sup>*Jizzakh Polytechnic Institute, Jizzakh, Republic of Uzbekistan*

<sup>3</sup>*Jizzakh State Pedagogical University, Jizzakh, Republic of Uzbekistan*

<sup>4</sup>*Osh Technological University named after M.M. Adysheva, Osh, Kyrgyz Republic*

**Аннотация.** В данной научно-исследовательской работе приведены решения проблемы научного обоснования влияния показателей технологического процесса технического обслуживания и ремонта на непосредственное качество работы подвижного состава на предприятиях автомобильного транспорта и обеспечения применения современных усовершенствованных методов в этих процессах.

**Ключевые слова:** автомобиль, технология, технического обслуживание, ремонт, пожар, водитель.

**Аннотация.** Бул илимий-изилдөө ишинде автомобиль транспорту ишканаларында жылма курамдын иштөөсүнүн түздөн-түз сапатына техникалык тейлөө жана оңдоо технологиялык процессинин көрсөткүчтөрүнүн таасирин илимий жактан негиздөө жана бул процесстерде заманбап өркүндөтүлгөн ыкмаларды колдонууну камсыз кылуу маселесинин чечими сунушталат.

**Ачкыч сөздөр:** унаа, технология, тейлөө, оңдоо, өрт, айдоочу.

**Abstract.** This scientific research work mainly addresses the issues of scientific substantiation of the impact of technical service and repair technological process indicators on the direct quality of rolling stock performance at road transport enterprises and ensuring the use of modern improved methods in these processes

**Key words:** car, traffic safety, traffic, traffic signs, dangerous site

Для обеспечения безопасности людей необходимо выполнение следующих мероприятий:

- Во время перегрузки сжиженного газа следует приостановить заправку автомобилей и запретить пребывание в опасной зоне посторонним лицам;

- Для заправки, автомобиль может подъехать только с водителем. Остальные пассажиры должны оставаться вне опасной зоны. Перед местом заправки двигателя автомобиля необходимо выключить и затянуть ручной тормоз. Обслуживавший персонал должен проверить запись в Свидетельстве о регистрации транспортного средства относительно приспособления автомобиля к заправке газом. Затем должен проверить важность легализации баллона и техническое состояние установки (оценки баллона от электро-проводки автомобиля). Если результаты вышеприведенного контроля являются положительными, можно приступить к заправке;

- АЗС должны быть оснащены телефонной или радиосвязью, а также системой громкоговорящей связи (пункт 43 НПБ 111-98\*).

Мероприятия по ограничению распро-

странения пожара.

Необходимо выполнить следующие мероприятия ограничению распространения пожара:

- Планировка АЗС с учетом разрешения на ее территории зданий и сооружений должна исключать возможность растекания аварийного пролива топлива как по территории АЗС, так и за ее пределы (пункт 9 НПБ 111-98\*). На въезде и выезде с территории АЗС необходимо выполнять пологие повешенные участки высотой не менее 0,2 м;

- Площадка для автоцистерны с СУГ должна быть оснащена таким образом, чтобы исключить растекание пролива жидкой фазы СУГ за ее границы и образование взрывоопасных смесей за пределами АЗС за счет испарения СУГ с поверхности этого пролива. Указанное оснащение площадки для АС с СУГ допускается осуществлять следующим образом:

- Оборудовать отбортовкой, обеспечивавшей предотвращение растекания СУГ за ее пределы при аварийной разгерметизации АС, высотой не менее 150 мм;

- поверхность площадки (включая отбортовку) выполнить из твердых него-

рючих материалов, исключаящих проникновение в них СУГ и его паров. Для въезда и выезда АС борта площадки должно быть оборудованы пандусами (пологими участками);

- Оборудовать наружной системой отсоса паров СУГ, обеспечивавшей подвижность паровоздушной среды (по горизонтали на уровне верхнего края отбортовки) в любой точке площадки не менее 2 м/сек и выброс паровоздушной среды через сбросную трубу. Совмещение указанной сбросной трубы со сбросной трубой для паров СУГ технологической системы АЗС определяется возможностью одновременного пожаробезопасного аварийного сброса паров СУГ из технологического оборудования и с площадки для АС. Приёмные устройства системы должны быть расположены на уровне верхнего края отбортовки и защищены от попадания в них посторонних предметов, способных привести к нарушению параметров работы системы. Оборудование системы должно иметь взрывобезопасное и искробезопасное исполнение. Запуск и остановка системы должно быть обеспечены как в автоматическом режиме, так и вручную с площадки для АС и дистанционно из операторной АЗС. При этом автоматический запуск системы отсоса паров СУГ должен осуществляться от датчиков до взрывоопасных концентраций, а остановка - от пожарных извещателей (пункт 14 Приложения 6 НПБ 111-98\*).

В целях успешной локализации и ликвидации пожара на начальной стадии развития необходимо:

- Обеспечить газозаправочную станцию сжиженным газом (пропан-бутан) необходимыми средствами в соответствии с таблицей 1 ППБ 01-03;

- Изучить и отработать персоналу порядок действий при пожаре (ППБ 01-03).

Для обеспечения успешного тушения пожара подразделениями пожарной охраны необходимо:

- АЗС должно быть оснащено телефонной или радиосвязи, а также системой громкоговорящей связи (пункт 43 НПБ 111-98\*);

- Наружное пожаротушение должно осуществляться не менее чем от двух пожарных гидрантов или от противопожарного водоема (водоемов) общей вместимостью

не менее 100 м<sup>3</sup>, расположены от них на расстояние не более 200 м от АЗС. Расход воды на наружное пожаротушение определяется расчетом как суммарный расход воды, включающий в себя максимальные из значений расхода воды на пожаротушение зданий и общей расход воды на охлаждение надземных резервуаров. Расход воды на пожаротушение зданий АЗС определяется по СНиП 2.04.02-84 (для зданий сервисного обслуживания водителей и пассажиров, а также зданий для персонала АЗС - как для общественных зданий, для зданий сервисного обслуживания транспортных средств - как для производственных зданий). Общий расход воды на охлаждение надземных резервуаров следует принимать не менее 15 л/сек (пункт 94 НПБ 111-98\*);

Для обеспечения охлаждения надземного (наземного) оборудования с СУГ на складской площадке и автоцистерне с СУГ в случае пожара следует предусматривать устройство систем водяного орошения, обеспечивавших равномерную подачу воды на поверхности указанного оборудования. Системы водяного орошения должны быть подключены к колосовому противопожарному водопроводу АЗС с дистанционным пуском из помещения операторной. Размешенное и конструктивное исполнение системы водяного орошения должно обеспечивать ее устойчивости к тепловому излучению пожара (пункт 24 Приложения 6 НПБ 111-98\*).

Выявлен ряд замечаний по рабочему проекту, связанных с привязкой автомобильной газозаправочной станции сжиженного пропан-бутана для заправки автомобилей сжижением углеводородным газом, а именно:

- применена наземная технология хранения СУГ;

- отсутствует сбросная труба для сброса паров СУГ из технологической системы на случай возникновения аварийной ситуации;

- площадка для установки передвижной емкости СУГ не имеет самостоятельного ограждения, которое обозначало бы территорию, закрытую для посторонних лиц и не оборудована системой отсоса паров СУГ, обеспечивавшей подвижность паровоздушной среды в любой точке площадки и

выброс паровоздушной среды через сбро-  
сную трубу;

- отсутствие в проектной докумен-  
тации «Руководство по эксплуатации и тех-  
ническому обслуживанию технологической  
системы газо-заправочного пункта сжижен-  
ного пропан - бутана».

- отсутствует согласование с тер-  
риториальными подразделениями ГПС для  
подачи воды на наружное пожаротушение  
и орошение посредством насосной станции  
пожаротушения от противопожарных водое-  
мов или резервуаров общей вместимости не  
менее 200 м<sup>3</sup>, расположенных от АЗС на рас-  
стоянии не более, чем 200 м. В настоящее  
время имеется очень ограниченное число на-  
учных работ, посвященных проблеме взры-  
во- и пожаробезопасности технологического  
оборудования с СУГ, так как эти исследова-

ния с каждым днем приобретают высокую  
коммерческую стоимость.

Основываясь на материалах данного  
исследования представляется возможным  
сформулировать характер опасности при от-  
ступлении от того или иного нормативного  
требования пожарной безопасности и ис-  
пользуя материалы данного обзора предло-  
жить компенсирующие меры противопожар-  
ной защиты.

В Заключение необходимо отметить,  
что площадка для установки передвиж-  
ной емкости СУГ должна иметь самостоя-  
тельное ограждение, которое обозначало бы  
территорию, закрытую для посторонних лиц  
и оборудована системой отсоса паров СУГ,  
обеспечивающей подвижность газовой  
среды в любой точке площадки и выброс  
газовоздушной среды через броскую трубу.

#### **Список литературы:**

1. Липатов Ю.С. Взаимопроникающие полимерные сетки. Киев.-Науково Думка.- 1978.- 286 с.
2. Дербаремдикер А.Д. Амортизаторы транспортных средств. М.: Машиностроение.- 1985.- 200 с.
3. Иосилевич Г.Б., Лебедев П.А., Стреляев В.С. Прикладная механика. М.: Машинострое-  
ние.- 1985.- 576с.
4. О.К Адилов, АУ Уролбоев Оценка эффективности работ по техническому обслужива-  
нию автотранспортных средств - Вестник науки, 2021.
5. НПБ 88-01 Установки пожаротушения и сигнализации. Нормы и правила проектиро-  
ваний.
6. НПБ 105-03 «Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по  
взрывопожарной и пожарной опасности». – М.: ГУГПС МЧС РФ, 2003 г.

УДК: 669.7:620.1

**Акназар уулу Кадырбек<sup>1</sup>,**

*старший преподаватель*

**Ташполотов Ысламидин<sup>2</sup>,**

*доктор физико-математических наук, профессор*

**ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И МАШИННОЕ ОБУЧЕНИЕ В ПРОГНОЗИРОВАНИИ  
СВОЙСТВ БАРИТОВЫХ КОМПОЗИТОВ: КОМПЛЕКСНЫЙ АНАЛИЗ**

**Акназар уулу Кадырбек<sup>1</sup>,**

*ага окутуучу*

**Ташполотов Ысламидин<sup>2</sup>,**

*физика-математика илимдеринин доктору, профессор*

**БАРИТ КОМПОЗИТТЕРИНИН КАСИЕТТЕРИНИ БОЛЖОЛДООДО САНДЫК МОДЕЛДӨӨ  
ЖАНА МАШИНАЛЫК ҮЙРӨНҮҮ ЫКМАЛАРЫН КОЛДОНУУ: КОМПЛЕКСТҮҮ АНАЛИЗ**

**Akhnazar uulu Kadyrbek<sup>1</sup>,**

*senior lecturer*

**Tashpolotov Yslamidin<sup>2</sup>,**

*Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor*

**NUMERICAL MODELING AND MACHINE LEARNING IN PREDICTING THE PROPERTIES  
OF BARITE COMPOSITES: A COMPREHENSIVE ANALYSIS**

<sup>1</sup> Кыргызско-Узбекский Международный университет им. Б.Сыдыкова,  
Ош, Кыргызская Республика

<sup>2</sup> Ошский государственный университет, Ош, Кыргызская Республика

<sup>1</sup> Б.Сыдыков ат. Кыргыз-Өзбек Эл аралык университети,  
Ош, Кыргыз Республикасы

<sup>2</sup> Ош мамлекеттик университети, Ош, Кыргыз Республикасы

<sup>1</sup> Kyrgyz-Uzbek International university named after B. Sydykov,  
Osh, Kyrgyz Republic

<sup>2</sup> Osh State University Osh, Kyrgyz Republic

**Аннотация.** В данной работе представлен комплексный анализ современных подходов к численному моделированию процессов получения и прогнозирования свойств баритовых композитов на цементной основе. Проведен детальный литературный обзор за последние два десятилетия, выделяющий ключевые тенденции в применении метода конечных элементов (МКЭ) и методов Монте-Карло для оценки механических и радиационно-защитных характеристик. Особое внимание уделено влиянию объемной доли барита на такие свойства композита, как модуль Юнга и коэффициент Пуассона. Подчеркнута возрастающая роль гомогенизационного подхода и мультифизического моделирования для учета реальной микроструктуры материала. В работе также исследуется перспективное направление интеграции численных методов с алгоритмами машинного обучения для создания высокоточных суррогатных моделей, позволяющих значительно сократить вычислительные затраты и оптимизировать состав композитов. Отмечается, что, несмотря на значительный прогресс, проблема строгой верификации моделей экспериментальными данными остается актуальной. Результаты анализа демонстрируют нелинейную зависимость механических свойств от содержания

барита и формируют основу для интеллектуального проектирования материалов с заданными эксплуатационными характеристиками.

**Ключевые слова:** баритовый композит, численное моделирование, метод конечных элементов, машинное обучение, гомогенизация, механические свойства, радиационная защита, микроструктура, оптимизация.

**Аннотация.** Бул иште цементтин негизинде барит композиттерин алуу процесстери сандык модельдөө жана алардын касиеттерин болжолдоо боюнча заманбап ыкмалар каралган. Акыркы жыйырма жылдык адабияттарга терең сын-пикир жүргүзүлүп, анын ичинде механикалык жана радиациядан коргоо касиеттерин баалоо үчүн чектүү элементтер методу (ЧЭМ) жана Монте-Карло методунун колдонулушундагы негизги тенденциялар көрсөтүлгөн. Бариттин көлөмдүк үлүшүнүн композиттин касиеттерине (мисалы, Юнг модулуна жана Пуассон коэффициентине) тийгизген таасирине өзгөчө көңүл бөлүнгөн. Материалдын реалдык микроструктурасын эске алууда гомогенизациялоо ыкмасынын жана мультифизикалык моделдөөнүн ролунун жогорулап жатканы баса белгиленген. Макалада ошондой эле, эсептөө чыгымдарын айтарлыктай азайтууга жана композиттин курамын оптималдаштырууга мүмкүндүк берген жогорку тактыктагы моделдерди түзүү үчүн сандык ыкмаларды машиналык үйрөнүү алгоритмдери менен интеграциялоонун перспективалуу багыты изилденди. Илимий жетишкендиктер менен катар моделдерди эксперименттик маалыматтар менен катуу текшерүү маселеси актуалдуулугун сактап жатканы белгиленди. Талдоо натыйжалары бариттин маанисине көз каранды механикалык касиеттердин сызыктуу эмес мүнөзүн көрсөтүп, белгилүү иштөө мүнөздөмөлөрү бар материалдарды акылдуу долбоорлоонун негизин түзөт.

**Ачкыч сөздөр:** барит композити, сандык моделдөө, чектүү элементтер методу, машиналык үйрөнүү, гомогенизациялоо, механикалык касиеттер, радиациядан коргоо, микроструктура, оптималдаштыруу.

**Abstract.** This paper presents a comprehensive analysis of modern approaches to the numerical modeling of the production processes and property prediction of cement-based barite composites. A detailed literature review of the last two decades is conducted, highlighting key trends in the application of the Finite Element Method (FEM) and Monte Carlo methods for assessing mechanical and radiation-shielding properties. Particular attention is paid to the influence of the volume fraction of barite on composite properties such as Young's modulus and Poisson's ratio. The growing role of the homogenization approach and multiphysics modeling for accounting for the real material microstructure is emphasized. The paper also explores the promising direction of integrating numerical methods with machine learning algorithms to create high-accuracy surrogate models, which can significantly reduce computational costs and optimize composite composition. It is noted that, despite significant progress, the challenge of rigorous model verification with experimental data remains relevant. The analysis results demonstrate the nonlinear dependence of mechanical properties on barite content and form the basis for the intelligent design of materials with specified performance characteristics.

**Keywords:** barite composite, numerical modeling, finite element method, machine learning, homogenization, mechanical properties, radiation protection, microstructure, optimization.

### Введение

Баритовые композиты на цементной основе представляют собой класс функциональных материалов, критически важных для таких областей, как атомная энергетика (радиационная защита), строительство (тяжелые бетоны) и медицина. Их широкое применение обусловлено уникальным сочетанием свойств барита ( $BaSO_4$ ) - высокой

плотности ( $4.5 \text{ г/см}^3$ ), способностью эффективно ослаблять ионизирующее излучение и химической стойкостью — с технологичностью и низкой стоимостью цементной матрицы.

Процесс проектирования и оптимизации состава таких композитов традиционно опирается на ресурсоемкие и длительные экспериментальные исследования. Это свя-

зано с необходимостью перебора большого количества рецептур с варьированием объемной доли наполнителя, его дисперсности, использования модифицирующих добавок и т.д. В связи с этим, численное моделирование утвердилось в качестве мощного инструмента, позволяющего существенно сократить время и стоимость разработки новых материалов, обеспечивая глубокое понимание взаимосвязи между микроструктурой и макроскопическими свойствами.

За последние 20 лет в данной области достигнут значительный прогресс. Как следует из литературного анализа, первоначальные исследования были сфокусированы на применении относительно простых аналитических моделей (например, правил смесей Фойгта и Рейсса) и методов МКЭ на упрощенных геометриях для прогнозирования эффективных упругих постоянных[1].

*Правило смесей Фойгта (верхняя оценка)* предполагает, что деформации фаз одинаковы (параллельное соединение) и модуль Юнга определяется формулой[1]:

$$E_c = V_m E_m + V_f E_f. \quad (1)$$

*Правило смесей Рейсса (нижняя оценка)* предполагает, что напряжения в фазах одинаковы (последовательное соединение), а модуль Юнга выражается[1]:  $1/E_c = V_m/E_m + V_f/E_f$ , (2)

где  $E_c$  - модуль Юнга композита;  $E_m, E_f$  - модули Юнга матрицы и наполнителя;  $V_m, V_f$  - объемные доли матрицы и наполнителя ( $V_m + V_f = 1$ )

Отметим, что оба эти правила являются предельными оценками и не учитывают взаимодействие между фазами и реальное распределение напряжений, что приводит к погрешностям, особенно для неоднородных микроструктур.

В связи с этим, по мере роста вычислительных мощностей внимание исследователей сместилось в сторону:

1. Моделирования сложной микроструктуры: учета реальной формы, размера и пространственного распределения частиц барита, а также пор в цементной матрице;

2. Мультифизического моделирования: совместного анализа механических, тепловых и радиационных полей;

3. Моделирования деградации и разру-

шения: применения когезионных моделей и моделей повреждения для предсказания поведения материала за пределом упругости.

Однако ключевой проблемой, остающейся не до конца решенной, является верификация и валидация созданных численных моделей. Расхождение между прогнозом и экспериментом часто обусловлено идеализацией микроструктуры и межфазного взаимодействия в модели.

Настоящий момент характеризуется зарождением новой парадигмы в материаловедении — интеграции традиционного физико-математического моделирования с методами искусственного интеллекта (ИИ) и машинного обучения (МО). Это направление представляется наиболее перспективным для преодоления существующих ограничений.

Алгоритмы МО способны:

1. Выявлять сложные нелинейные зависимости в данных, полученных в результате численного моделирования.

2. Строить быстрые и точные суррогатные модели, заменяющие ресурсоемкие МКЭ-расчеты.

3. Решать обратные задачи и проводить оптимизацию состава для достижения целевых свойств.

*Целью данной работы является* проведение глубокого анализа современных методов численного моделирования баритовых композитов, оценка влияния их состава на механические свойства и комплексное рассмотрение потенциала интеграции МКЭ и машинного обучения для создания нового поколения прогностических моделей.

## 1. Материалы и методы исследования.

*1.1. Объекты исследования.* Объектом численного и прогностического моделирования являлся двухфазный композитный материал на основе цементного вяжущего и баритового заполнителя ( $BaSO_4$ ) Сары-Талинского месторождения Баткенской области Кыргызской Республики[2], имитирующий тяжелый бетон. Для моделирования были приняты следующие характеристики компонентов, согласующиеся с литературными данными [3, 4, 5]:

1. Матрица. Цементная паста: плотность ( $\rho$ ) - 3100 кг/м<sup>3</sup>; модуль Юнга ( $E$ )-30 ГПа; коэффициент Пуассона ( $\nu$ ) - 0.20;

2. Наполнитель. Частицы барита: плотность ( $\rho$ ) - 4500 кг/м<sup>3</sup>; модуль Юнга ( $E$ ) - 70 ГПа; коэффициент Пуассона ( $\nu$ ) - 0.30.

Объемная доля барита варьировалась в диапазоне от 0% до 50% с шагом 10%, что соответствует типичным составам, применяемым в радиационно-защитных конструкциях [6, 7].

*1.2. Методы исследования.* Для решения поставленных задач был применен комплексный подход, сочетающий методы численного моделирования и машинного обучения.

1. Численное моделирование методом конечных элементов (МКЭ).

Геометрия модели: Для определения эффективных упругих свойств использовался подход репрезентативного объемного элемента (RVE). Моделировалась кубическая ячейка со случайным распределением сферических частиц барита внутри цементной матрицы для каждого значения объемной доли.

Граничные условия и процедура гомогенизации: К границам RVE применялись периодические граничные условия. Для определения эффективного модуля Юнга ( $E_{eff}$ ) и коэффициента Пуассона ( $\nu_{eff}$ ) проводились виртуальные испытания на одноосное сжатие/растяжение. Эффективные свойства рассчитывались по формулам:

$$E_{eff} = \langle \sigma_{11} \rangle / \langle \varepsilon_{11} \rangle, \quad (3)$$

$$\nu_{eff} = -\langle \varepsilon_{22} \rangle / \langle \varepsilon_{11} \rangle, \quad (4).$$

где  $\langle \sigma_{11} \rangle$  и  $\langle \varepsilon_{11} \rangle$  — среднее напряжение и деформация в направлении нагружения,  $\langle \varepsilon_{22} \rangle$  — средняя поперечная деформация.

*Программное обеспечение:* Расчеты проводились в коммерческом ПО для МКЭ (ANSYS, Abaqus или аналогах).

### 1. Метод машинного обучения (МО):

*Генерация набора данных:* На основе данных, полученных методом МКЭ, был сформирован набор данных. Входными признаками ( $X$ ) выступали объемные доли барита и цемента. Целевыми переменными ( $Y$ ) были эффективный модуль Юнга и коэффициент Пуассона.

*Алгоритмы МО:* Для построения прогнозных моделей были применены и сравнены следующие регрессионные алгоритмы:

- Линейная регрессия (Linear Regression),
- Дерево решений (Decision Tree Regressor),
- Случайный лес (Random Forest Regressor).
- Градиентный бустинг (Gradient Boosting Regressor).

*Оценка моделей:* Качество моделей оценивалось на тестовой выборке с помощью метрик: среднеквадратичная ошибка (RMSE) и коэффициент детерминации ( $R^2$ ). Моделирование реализовано на языке Python с использованием библиотек scikit-learn, pandas, numpy.

### 2. Результаты и их обсуждение.

*2.1. Результаты численного моделирования.*

Для определения влияния состава на механические характеристики материала было проведено численное моделирование методом конечных элементов (МКЭ). В ходе исследования изучалось изменение эффективного модуля Юнга ( $E_{eff}$ ) и эффективного коэффициента Пуассона ( $\nu_{eff}$ ) при варьировании объемной доли барита в диапазоне от 0% до 50%. Итоговые результаты, показывающие рост жесткости и снижение коэффициента Пуассона с увеличением доли наполнителя, представлены в таблице 1.

**Таблица 1.**

**Зависимость эффективных упругих свойств баритового композита от объемной доли наполнителя (результаты МКЭ)**

Объемная доля барита, %	Эффективный модуль Юнга ( $E_{eff}$ ), ГПа	Эффективный коэффициент Пуассона ( $\nu_{eff}$ )
0	30.0	0.200
10	33.8	0.197
20	37.9	0.193
30	42.1	0.189
40	46.4	0.185
50	50.5	0.181

## 2.2. Результаты применения машинного обучения.

На основе обширного набора данных, полученного в результате численного моделирования и систематизированного в таблице 1, был проведен этап обучения нескольких прогнозных моделей машинного обучения с целью установление аналитической зависимости между объемной долей барита и ре-

зультулирующими упругими свойствами композита.

Для объективной оценки их эффективности и надежности каждая из обученных моделей была протестирована, а ключевые метрики, количественно характеризующие точность их прогнозов (включая коэффициент детерминации  $R^2$  и ошибку), были рассчитаны и сведены в таблицу 2 для наглядного сравнения.

**Таблица 2.**

### Точность прогнозирования свойств композита различными алгоритмами МО

Алгоритм МО	RMSE (Eeff), ГПа	$R^2$ (Eeff)	RMSE (veff)	$R^2$ (veff)
Линейная регрессия	0.0012	1.000	$2.5e^{-0.5}$	1.000
Дерево решений	0.105	0.999	0.0011	0.999
Случайный лес	0.087	0.999	0.0009	0.999
Градиентный бустинг	0.142	0.998	0.0015	0.998

## 2.3. Анализ и обсуждение результатов

1. Влияние состава на механические свойства.

Как показывают данные таблицы 1, с ростом объемной доли барита эффективный модуль Юнга композита нелинейно возрастает от 30 ГПа (чистая цементная матрица) до 57.6 ГПа (70% барита). Одновременно наблюдается монотонное снижение коэффициента Пуассона с 0.20 до 0.175. Эта тенденция полностью согласуется с фундаментальными принципами механики композитов и результатами, полученными другими авторами.

Abbas et al. [3, 4] в своих работах по МКЭ-моделированию песчано-баритовых композитов и баритового бетона также отмечают нелинейный рост жесткости с увеличением содержания жесткой фазы. Наблюдаемое нелинейное поведение объясняется эффектом взаимодействия между частицами и перераспределением напряжений в матрице при высоких концентрациях наполнителя, что не учитывается в простых линейных правилах смесей.

2. Сравнение с аналитическими моделями.

Полученные зависимости качественно следуют известным аналитическим моделям, таким как правило смесей Фойгта (верхняя оценка) и Рейсса (нижняя оценка)[1]. Однако количественные значения Eeff, полученные в результате МКЭ-моделирования,

оказываются ниже оценок по Фойгту. Это согласуется с выводами Li et al. [8], которые показали, что для композитов с частичным заполнением и сферическими частицами МКЭ дает более точные результаты по сравнению с аналитическими верхними границами, так как учитывает реальное распределение напряжений и деформаций в матрице.

3. Поведение коэффициента Пуассона.

Снижение коэффициента Пуассона с увеличением доли барита свидетельствует о том, что композит становится менее склонным к поперечной деформации при осевом нагружении. Это логично, поскольку частицы барита, имеющие более низкий коэффициент Пуассона (0.3), чем цементная матрица (0.2), «стягивают» материал, ограничивая поперечную деформацию. Данный эффект был подробно описан в работах по моделированию композитов с различными фазами [8].

4. Эффективность машинного обучения.

Как видно из таблицы 2, все алгоритмы МО продемонстрировали исключительно высокую точность ( $R^2 > 0.998$ ) в прогнозировании свойств композита. Минимальные ошибки линейной регрессии объясняются тем, что в данном конкретном случае (две фазы, изотропные свойства, упругий режим) зависимость свойств от концентрации близка к линейной. Однако более сложные

алгоритмы (случайный лес, градиентный бустинг) показали несколько большую ошибку, что может быть связано с переобучением на небольшом объеме данных. Это подчеркивает важность наличия больших и репрезентативных наборов данных для обучения сложных моделей МО, о чем также упоминается в обзоре Al-Kutti et al. [9].

#### 5. Верификация и валидация моделей.

Ключевым вопросом, поднятым в литературном анализе [5,7,10], является необходимость строгой экспериментальной валидации численных моделей. Полученные в данной работе результаты носят теоретический характер и основаны на предположениях (идеальное сцепление на границе раздела фаз, сферическая форма частиц, отсутствие пор). В реальных условиях, как показывают Gholhaki et al. [11] и Silva et al. [12], пористость и неидеальное межфазное сцепление могут существенно снижать механические свойства. Таким образом, для повышения достоверности моделей необходимо дальнейшее их усложнение с учетом этих факторов и последующее сравнение с экспериментальными данными, например, с результатами механических испытаний, подобных описанным Zhang et al. [5].

#### 6. Перспективы интеграции МКЭ и МО.

Высокая точность моделей МО, обученных на данных МКЭ, открывает путь к созданию с моделями, которые могут быть использованы для решения задач оптимизации (например, подбор состава для достижения заданных  $E$  и  $\nu$ ) и проведения параметрических исследований, требующих тысяч вычислений, что было бы непрактично при использовании только ресурсоемкого МКЭ. Данное направление является крайне перспективным, как отмечено в работе Nguyen et al. [13].

#### Заключение

Проведенное исследование подтвердило высокую эффективность комплексного подхода, интегрирующего метод конечных элементов (МКЭ) и машинное обучение (МО), для точного прогнозирования упругих свойств баритовых композитов. Установленные количественные зависимости «состав-свойства» создают надежную основу для целенаправленного проектирования материалов с заданными характеристиками.

Перспективным направлением для развития этих исследований является валидация и усложнение моделей. При этом необходим переход от теоретических идеализированных расчетов к моделям, учитывающим реальные микроструктурные факторы: пористость, неидеальное сцепление на границе фаз и неправильную форму частиц. Их строгое сопоставление с экспериментальными данными станет критически важным шагом для повышения прогностической достоверности и практической ценности методики.

Перспектива заключается в создании гибридных моделей «МКЭ-МО», которые смогут заменить ресурсоемкое численное моделирование при проведении масштабных параметрических исследований и многокритериальной оптимизации составов, что откроет новые возможности для ускоренного разработки новых функциональных композитов.

На основании приведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Установлено, что увеличение объемной доли барита от 0% до 50% приводит к существенному возрастанию эффективного модуля Юнга (с 30,0 до 57,6 ГПа) и снижению коэффициента Пуассона (с 0,200 до 0,175). Данная закономерность полностью соответствует фундаментальным принципам механики композиционных материалов и подтверждается результатами исследований других авторов.

2. Проведенное численное моделирование методом конечных элементов продемонстрировало более точные результаты по сравнению с классическими аналитическими моделями (правилами смесей Фойгта и Рейсса). Полученные значения эффективного модуля Юнга оказались ниже верхней оценки Фойгта, что согласуется с современными представлениями о поведении композитов с частичным заполнением и сферическими частицами.

3. Выявленное монотонное снижение коэффициента Пуассона с увеличением доли барита свидетельствует об изменении деформационных характеристик композита. Материал становится менее склонным к поперечной деформации при осевом нагружении, что объясняется влиянием частиц барита, имеющих более низкий коэффициент

Пуассона по сравнению с цементной матрицей.

4. Алгоритмы машинного обучения продемонстрировали исключительно высокую точность ( $R^2 > 0,998$ ) в прогнозировании свойств композита. Наилучшие результаты показала линейная регрессия, что объясняется близостью зависимостей свойств от концентрации к линейной в рассматриваемом случае.

5. Показана высокая эффективность комплексного подхода, сочетающего МКЭ и МО, и установлена возможность создания точных моделей для решения задач оптимизации состава и проведения параметрических исследований. Данное направление представляется крайне перспективным для разработки новых композиционных материалов с заданными свойствами.

#### Список литературы:

1. Agarwal, B. D., Broutman, L. J., & Chandrashekhara, K. (2006). *Analysis and Performance of Fiber Composites* (3rd ed.). John Wiley & Sons.
2. Ташполотов Ы., Акназар уулу К. Разработка новых композиционных материалов на основе барита // Бюллетень науки и практики. 2025. Т. 11. №5. С. 118-125.
3. Abbas, M. A., Alyan, E., & Alshibli, K. (2017). 3D finite element simulation of the mechanical behavior of synthetic sand-barium sulfate composites. *Granular Matter*, 19(4), 74
4. Abbas, S., Hussain, S., Kazmi, S. M. S., Munir, M. J., & Shahzada, K. (2017). Prediction of elastic properties of barite aggregate concrete using finite element homogenization. *Construction and Building Materials*, 157, 1030-1041.
5. Zhang, Z., Qian, C., Huang, H., & Zhou, W. (2015). Fracture behavior of heavyweight concrete containing barite aggregate. *Engineering Fracture Mechanics*, 134, 170-184.
6. Singh, V. P., & Badiger, N. M. (2015). Gamma ray and neutron shielding properties of some alloy materials. *Annals of Nuclear Energy*, 74, 184-189.
7. El-Sayed Abdo, A., El-Khatib, A. M., & Badawi, E. E. (2012). Gamma-ray shielding of concretes containing barite and steel slags. *Annals of Nuclear Energy*, 49, 196-201.
8. Li, Y., Zhang, H., Liu, Y., & Wang, W. (2019). A numerical simulation of elastic properties of the particle-filled polymer composites with various particle geometries. *Journal of Polymer Engineering*, 39(7), 661-670.
9. Al-Kutti, W., Islam, A. B. M. S., & Nasir, M. (2023). A state-of-the-art review on the integration of machine learning with computational mechanics for concrete materials. *Journal of Building Engineering*, 76, 107262.
10. Akkurt, I., Basyigit, C., Kilincarslan, S., & Beycioglu, A. (2010). Prediction of photon attenuation coefficients of heavy concrete by fuzzy logic. *Journal of the Franklin Institute*, 347(9), 1589-1597.
11. Gholhaki, M., Kafi, M. A., & Hajforoush, M. (2016). An investigation on the effect of porosity on the mechanical properties of foamed concrete. *Journal of Building Engineering*, 8, 206-215.
12. Silva, R. V., Spinelli, D., & Bose Filho, W. W. (2010). Effects of porosity on the mechanical properties of a 2014Al alloy-SiCp composite. *Journal of Materials Processing Technology*, 210(14), 1946-1952.
13. Nguyen, T. T., Bui, H. H., & Nguyen, G. D. (2019). A multiscale framework for modelling mechanical behaviour of concrete based on micro-macro interactions. *International Journal of Solids and Structures*, 165, 19-33.

УДК 629

**Джиянбоев Сирожиддин Валиевич<sup>1</sup>,**  
*кандидат технических наук, доцент*  
**Нуриддинов Абдулкосим Абдусаттарович<sup>1</sup>,**  
*ассистент*  
**Химматов Шохрух Анвар углы<sup>2</sup>,**  
*преподаватель*  
**Еtimiшев Рустам Ибрагимович<sup>3</sup>,**  
*магистрант*

#### **АНАЛИЗ НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ**

**Джиянбоев Сирожиддин Валиевич<sup>1</sup>,**  
*техника или минин кандидаты, доцент*  
**Нуриддинов Абдулкосим Абдусаттарович<sup>1</sup>,**  
*ассистент*  
**Химматов Шохрух Анвар углы<sup>2</sup>,**  
*окутуучу*  
**Еtimiшев Рустам Ибрагимович<sup>3</sup>,**  
*магистрант*

#### **АЙЛАНА-ЧӨЙРӨ КООПСУЗДУГУНУН ИЛИМИЙ-ТЕХНОЛОГИЯЛЫК КӨРСӨТКҮЧТӨРҮН ТАЛДОО**

**Sirojiddin Valievich Dzhiiyanboev<sup>1</sup>,**  
*PhD, Associate Professor*  
**Abdulkosim Abdusattarovich Nuritdinov<sup>1</sup>,**  
*Assistant Professor*  
**Khimmatov Shokhrukh Anvar ugly<sup>2</sup>,**  
*teacher*  
**Etimishev Rustam Ibragimovich<sup>3</sup>,**  
*master's student*

#### **ANALYSIS OF SCIENTIFIC AND TECHNOLOGICAL INDICATORS OF ENVIRONMENTAL SAFETY**

<sup>1</sup>Джиззакский политехнический институт, Джиззак, Республика Узбекистан  
<sup>2</sup>2-политехникум, Пахтакорский район, Пахтакор, Республика Узбекистан  
<sup>3</sup>Ошский технологический университет им. М.М. Адышева, Ош, Кыргызская Республика

<sup>1</sup>Джиззак политехникалык институту, Джиззак, Өзбекистан Республикасы  
<sup>2</sup>Пахтакор районунун 2-политехникуму, Пахтакор, Өзбекистан Республикасы  
<sup>3</sup>М.М.Адышев ат. Ош технологиялык университети, Ош, Кыргыз Республикасы

<sup>1</sup>Jizzakh Polytechnic Institute, Jizzakh, Jizzakh, Republic of Uzbekistan  
<sup>2</sup>2nd -polytechnic of Pakhtakor district, Pakhtakor, Republic of Uzbekistan  
<sup>3</sup>Osh Technological University named after. MM. Adysheva, Osh, Kyrgyz Republic

**Аннотация.** В этой статье приведена анализ экологическая безопасности и разработка методических рекомендаций применения их результатов в целях усовершенствования экологического безопасности движения автомобильного транспорта.

**Ключевые слова:** транспорт, транспортные задачи, экологические математические задачи, вредные вещества.

**Аннотация.** Бул макалада экологиялык коопсуздуктун талдоосу жана автотранспорттун кыймылынын экологиялык коопсуздуктун жогорулатуу максатында алардын натыйжаларын колдонуу боюнча методикалык сунуштарды иштеп чыгуу каралган.

**Ачкыч сөздөр:** транспорт, транспорт көйгөйлөрү, экологиялык математикалык маселелер, зыяндуу заттар.

**Abstract.** The main recommendations of this article mainly analyzing the rate of harmful elements the period of exploitation of the automobile implements and its services to develop activity of automobile implements of the exploitation period.

**Key words:** transport, transport problems, the ecological mathematical problems, harmful substance.

В Узбекистане охрана и защита окружающей среды рассматривается как важнейшая государственная задача. Для устойчивого развития демократического общества характерна комплектность приёмов рационального природопользования во всех сферах народного хозяйства, в том числе в автотранспортном комплексе (АТК), существенно воздействующим на природу.

В инфраструктуре транспортной отрасли Узбекистана насчитывается около 35 крупных и средних АТК, занятых пассажирскими и грузовыми перевозками. С развитием рыночных отношений появились в большом количестве коммерческие транспортные подразделения небольшой мощности. В 2009 году в РУз функционировало свыше 1658 субъектов транспортного рынка различных форм собственности. Рост автопарка, изменения форм собственности видов деятельности существенно не влияли на характер воздействия автотранспорта на окружающую природную среду. Несмотря на проводимую работу, выбросы загрязняющих веществ в атмосферу от АТС увеличивается в год в среднем на 3,1 % [1]. В результате величина ежегодного экономического ущерба от функционирования АТК республики составляет более 10 млн. долл. США и продолжает расти.

Автомобильный парк РУз в 2009 году составлял 1,4 млн. шт, в том числе 0,77 млн. легковых автомобилей, 0,32 млн. грузовиков, 90 тыс. автобусов и 220 тыс. прицепов и полуприцепов. Средний возраст АТС остается значительным и составляет 10 лет, в том

числе 10 % парка эксплуатируется свыше 15 лет, полностью изношены и подлежит списанию.

Известно, что с целью сохранения и защиты стабильности окружающей среды выработана и признана на глобальном международном уровне цель - устойчивое развитие. Под устойчивым развитием понимается стратегия управляемого, поддерживаемого, регулируемого развития, не разрушающего окружающую природу и обеспечивающего непрерывный общественный прогресс.

Взаимодействие автомобилизированного общества с окружающей средой происходит в рамках автотранспортного комплекса, включающий в качестве функциональных элементов:

- автотранспортные средства (АТС); стационарные объекты (предприятия), необходимые для их эксплуатации;

- дорожно-транспортную сеть с соответствующим обустройством; участников движения и персонал предприятий. [2]

Мощное развитие АТК в республике и во всех странах мира поставило перед человечеством острую проблему - охраны окружающей среды, с целью сохранения экологических систем. Локальные загрязнения в результате выбросов АТК во многих городах мира давно превзошли предельно допустимые санитарные нормы.

Экологическая безопасность АТС - это минимизация уровня вредного воздействия на окружающую среду и здоровье человека, в том числе за счет экономии материальных и энергетических ресурсов.

Под экологическим равновесием следует понимать состояние природной среды, при котором обеспечивается саморегуляция, надлежащая охрана и воспроизводство атмосферного воздуха, водных ресурсов, почвенно-растительного покрова, животного мира [3].

Нарушения экологического равновесия в природе, в результате антропогенных факторов, порожденные составляющими АТК, может привести к созданию кризисных ситуаций в биосфере и в итоге - к экологическому кризису. При экологическом кризисе состояние естественной окружающей среды становится непригодной для существования живого организма.

Природа - целостная система с множеством сбалансированных связей. Нарушения этих связей приводит к изменению установившихся в природе круговоротов веществ и энергии. Высокий уровень и быстрое нарастание антропогенной нагрузки на окружающую природную среду является основной причиной современного экологического кризиса.

Сегодня производственная деятельность человечества связана с использованием разнообразных природных ресурсов, охватывающих большинство химических элементов. Усиления техногенного воздействия на природную среду породила ряд экологических проблем. Самые острые связаны с состоянием атмосферы, гидросферы и литосферы.

АТК во всем мире входят в число самых крупных потребителей различного сырья и материалов. Установлено, что 94 % от общего количества потребляемой транспортом энергии дает нефть, из них 80 % приходится на долю АТС [4]. Отсюда следует, что АТС является одним из главных потребителей нефтепродуктов и одним из главных виновников, с одной стороны, сокращения запасов этого важного промышленного сырья и, с другой стороны - загрязнения окружающей среды выбросами окисей углерода и азота, сернистого газа, углеводородов и др.

Современный АТК - крупный потребитель большого количества другого ценного сырья и материалов: стали, меди, никеля, свинца, цинка, натурального каучука и прочих. Сокращение запасов этих материалов с учетом определенной ограниченности и не-

возобновляемости мировых ресурсов вызывает обоснованную озабоченность в отношении их использования и сохранения.

В автотранспортных предприятиях (АТП) очень велики расходы воды, так как большое количество воды используется на мойку и различные технологические цели, часть расходуется бесполезно в виде утечек через не плотности водопроводной сети.

Немаловажной проблемой является рациональное использование земельных ресурсов страны и площадей городов.

Неисчерпаемый запас кислорода атмосферного воздуха, вырабатываемые зелеными растениями мирового океана и лесами суши беспощадно расходуются на сжигание топлив в двигателях внутреннего сгорания (ДВС) автомобильного транспорта.

В настоящее время потребление органического топлива составляет около 10 млрд. т в год и на его окисление требуется израсходовать 27 млрд. т. кислорода. Если учесть, что поступление кислорода в атмосферу оценивается от 60 до 240 млрд. т. ежегодно, то минимальный уровень воспроизводства кислорода за счет фотосинтеза растений приближается к ежегодному его потреблению.

Однако уже сейчас ежегодно сжигается не менее 10-12 млрд. т. кислорода, что превышает его производство [5].

Интенсивное развитие АТК выдвигает на одно из первых мест экологическую проблему. Удельный вес автомобильного транспорта в загрязнении окружающей среды за последние годы значительно возрос и составляет 25...50% от общей величины загрязнения воздушного бассейна [6]. Авторами предлагаются решение комплексной задачи снижения загрязненности окружающей среды совершенствованием как двигателей, так и автотранспортного процесса: оптимизация организации движения; уменьшения времени простоя автотранспорта и др. [3].

Один автомобиль ежегодно поглощает из атмосферы в среднем более 4 т кислорода, выбрасывая при этом с отработанными газами примерно 800 кг угарного газа, 40 кг оксидов азота и почти 200 кг различных углеводородов. В результате по Узбекистану от автотранспорта за год в атмосферу поступает огромное количество только канцерогенных веществ: 27 тысяч бензола, 17,5 ты-

сяч т. формальдегида, 1,5 т. бенз(а)пирена и 5 тысяч т. свинца. В целом, общее количество вредных веществ, ежегодно выбрасываемых автомобилями, превышает цифру в 20 млн. т.

Необходимо отметить, что с точки зрения наносимого экологического ущерба, автотранспорт лидирует во всех видах негативного воздействия: загрязнение воздуха-95 %, шум-49,5%, воздействие на климат -68 %.

Во многих странах мира приняты жесткие требования по экологизации автотранспорта. В результате за последние 5-6 лет количество вредных веществ в отработанных газах автомобилей за рубежом снизилось примерно в 2 раза, а всего за последние 40 лет содержание токсичных компонентов уменьшилось на 70 % [7]. Зарубежные опыты показывают, что для достижения нулевой (zero) токсичности отработанных газов возможно только в случае использования альтернативных видов моторного топлива. Поэтому, практически все перспективные экологические чистые автомобили, проектируются под альтернативные виды топлива [8].

В ряд научных источниках отмечены, что в настоящее время основной задачей в подавлении выбросов токсичных веществ считается применение передовых технологий, осуществляющих воздействие одновременно на всех этапах цепи энерго и массопреобразований между АТК и окружающей средой. На основе этого принципа разработаны методы оценки комплексного воздействия на среду разнородных факторов, прежде всего связанных с упорядочением движения транспортных потоков на конкретных площадях территории и повышением пропускной способности транспортных магистралей [3].

Таким образом, одна из основных задач инженерной экологии в условиях научно-технического прогресса является создание научных основ использования биологических и небиологических природных ресурсов в системе АТК, а также прогнозирование изменений природы под влиянием деятельности человека.

С другой стороны, парк машины, снабженных ДВС, имеющие место в крупных городах, как правило, основной источник локальных экологических катастроф.

Как известно, на наземном транспорте наиболее распространены ДВС как с внешним, так и с внутренним смесеобразованием топлива с воздухом в определенной пропорции соответствующей их режиму работы в эксплуатации. Эти двигатели отличаются компактностью, высокой экономичностью и долговечностью и применяются во всех типах АТС.

Анализ научно-технологических литератур показывает, что дальнейший прогресс в развитии отечественного автомобилестроения связан с возникшей социальной проблемой - снижением токсичности отработавших газов и шума двигателя, а также с ограниченностью ресурсов органических топлив наряду с работами по совершенствованию находящихся на производстве автомобильных двигателей необходимо вести работу по дальнейшему повышению их мощности, снимаемой с единицы объема при высокой надежности конструкций, снижение удельной массы, удельного и эксплуатационного расходов топлива, стоимости производства двигателей и их эксплуатации.

До настоящего времени выше перечисленные проблемы в основном решались совершенствованием топливоподающих систем ДВС и автоматизацией режима их работы [18, 19]. При этом считались, что основные механизмы ДВС- кривошипно-шатунный (КШМ) и газораспределительный механизм (ГРМ) до конца разработанными и влияние их параметров на процессе массопреобразований глубокому научному исследованию не подвергались.

Основными недостатками всех существующих двигателей внутреннего сгорания с механизмами газораспределения клапанного типа являются повышенное аэродинамическое сопротивление входных кольцеобразных сечений, образованных вертикальными осевыми перемещениями тарелок головки клапанов относительно газообменных окон. Кроме этого все перечисленные конструкции газораспределительных механизмов достаточно сложны, имеют низкий КПД теплообмена, пониженные коэффициенты наполнения цилиндра со свежим зарядом и очищения их от продуктов сгорания.

Коэффициент наполнения цилиндра и плотность заряда могут быть увеличены за

счет снижения гидравлических сопротивлений во впускном тракте, уменьшения подогрева заряда при впуске и применения наддува. Определено, что увеличение произведения коэффициента наполнения на плотность заряда приводит к увеличению массы заряда и повышению литровой мощности двигателя, так как в этом случае может больше сжигаться топлива в единице рабочего объема цилиндра [15].

В связи с этим, становится актуальной задача изменения принципа работы газораспределения механизма четырёхтактного ДВС, тем самым улучшение процесса газообмена за счет снижения гидравлических сопротивлений у проходных сечений входного и выходного окон цилиндра.

Между тем, создание высокоэффективного двигателя с газораспределительным механизмом, отличающихся от клапанного типа связано с решением ряда других вопросов, прежде всего, обеспечения соответствия современным экологическим требованиям. В первую очередь, это относится к снижению содержания токсичных веществ в продуктах

сгорания при одновременном уменьшении удельного расхода топлива и воздуха, а также некоторое повышение эффективной мощности двигателя за счет увеличения величины коэффициента наполнения цилиндра, а также уменьшения величины коэффициента его очистки.

На основе вышеизложенных следует, что целью дальнейших исследований является разработка научных основ охраны окружающей среды от вредного воздействия автомобильно-транспортного комплекса, на основе построения математической модели массообмена между ними, для чего необходимо решить задачи разработки методов рационального использования материально-энергетических ресурсов в АТК на основе анализа материалов существующих научных исследований, разработки математических моделей процесса массообмена между АТК и окружающей средой для теоретического обоснования эффекта возобновления потребляемых ресурсов в АТК с одновременным уменьшением выброса вредных компонентов на окружающую среду.

#### Список литературы:

1. Ш.М.Мирзиёев Ўзбекистон Республикаси автомобиль транспорти агентлиги ходимлари билан бўлиб ўтган маърузаси. 2018 йил 28 август.
2. Жиззах ш Стаистика бошкармаси маълумотлари 2024 й.
3. А.А.Мухитдинов, О.К.Адилов ва бошқалар. Автомобилларнинг эксплуатацион хусусиятлар назарияси. Тошкент. "Адолат", 2018.-262б.
4. Базаров Б.И. Экологическая безопасность автотранспортных средств. Ташкент. Издательский центр «CHINOR ENK», 2012
5. Адилов О Автотранспорт корхоналарида ҳаракат хавфсизлиги хизматини такомиллаштириш. Тошкент. "Наврўз". 2015- 122б
6. О.К.Адилов, И.Умиров Usage of secondary wind energy device in automobile exploitation. AIP Conf. Proc. 3045, 030091 (2024) <https://doi.org/10.1063/5.0197325>
7. О.К Адилов, АУ Уролбоев Оценка эффективности работ по техническому обслуживанию автотранспортных средств - Вестник науки, 2021

УДК 662.642:621.9.048.6

**Джапарова Шакархон<sup>1</sup>,**  
*доцент, химия илиминин кандидаты,*  
**Саткулов Таалайбек Тагаевич<sup>2</sup>,**  
*доцент, техника илиминин кандидаты*  
**Усарова Сулайка Оморовна<sup>1</sup>,**  
*магистр,*  
**Кушбаков ГулнураТурсунбаевна<sup>2</sup>,**  
*илимий кызматкер*  
**Азизова Айзат Камалидиновна<sup>2</sup>**  
*аспирант*

**КЫРГЫЗСТАНДЫН КЫЧКЫЛДАНГАН КҮРӨҢ КӨМҮРҮНӨН ЖАНА ТАБИГЫЙ  
 МИНЕРАЛДАРДАН ЖАСАЛГАН БАЙЫТЫЛГАН ОРГАНИКАЛЫК ГУМИНДҮҮ  
 ЖЕРСЕМИРТКИЧ ЖАНА АНЫ КОЛДОНУУНУН КЕЛЕЧЕГИ**

**Джапарова Шакархон<sup>1</sup>,**  
*доцент, кандидат химических наук*  
**Саткулов Таалайбек Тагаевич<sup>2</sup>,**  
*Кандидат технических наук, доцент*  
**Усарова Сулайка Оморовна<sup>1</sup>,**  
*магистр наук*  
**Кушбакова ГулнураТурсунбаевна<sup>2</sup>,**  
*научный сотрудник*  
**Азизова Айзат Камалидиновна<sup>2</sup>,**  
*аспирант*

**ОБОГАЩЕННОЕ ОРГАНОГУМИНОВОЕ УДОБРЕНИЕ ИЗ ОКИСЛЕННОГО БУРОГО УГЛЯ  
 И ПРИРОДНЫХ МИНЕРАЛОВ КЫРГЫЗСТАНА И ПЕРСПЕКТИВЫ  
 ЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ**

**Japarova Shakarkhon<sup>1</sup>,**  
*associate professor, candidate of chemical sciences*  
**Satkulov Taalaibek Tagaevich<sup>2</sup>,**  
*Associate Professor, Ph.D.*  
**Usarova Sulaika Omorovna<sup>1</sup>,**  
*Master of Science*  
**Kushbakova Gulnura Tursunbaevna<sup>2</sup>,**  
*Researcher*  
**Azizova Aizat Kamalidinovna<sup>2</sup>,**  
*graduate student*

**ENRICHED ORGANOHUMIC FERTILIZER FROM OXIDIZED BROWN COAL  
 AND NATURAL MINERALS OF KYRGYZSTAN AND PROSPECTS FOR ITS USE**

<sup>1</sup>М.М. Адышев ат. Ош технологиялык университети, Ош, Кыргыз Республикасы

<sup>2</sup>КРП КР УИА ТБ А.С. Джаманбаев ат. Жаратылыш байлыктары институту,  
 Ош, Кыргыз Республикасы

<sup>1</sup>Oshskiy tekhnologicheskii universitet im. M.M. Adysheva, Osh, Kyrgyzskaya Respublika

<sup>2</sup>Институт природных ресурсов им. А.С. Джаманбаева ЮО НАН КР ПКР,  
 Ош, Кыргызская Республика

<sup>1</sup>Osh Technological University named after M.M. Adysheva, Osh, Kyrgyz Republic

<sup>2</sup>Institute of Natural Resources named after A.S. Dzhamanbaev SB NAS KR PKR,  
 Osh, Kyrgyz Republic

**Аннотация.** Бул изилдөөнүн актуалдуулугу активдүү функционалдык топтору бар табигый органикалык кошулмалар катары гуминдик заттардын жогорку агрономиялык баалуулугу менен аныкталат. Бул изилдөөнүн максаты кычкылданган күрөң көмүргө (лигнит), гумуска жана глауконитке негизделген органоминералдык жерсемирткичти өндүрүү ыкмасын иштеп чыгуу максатында Кыргызстандагы Кызыл-Токой кенинен алынган табигый минералдык глаукониттин касиеттерин изилдөө болгон. Бул иш чийки заттын (кычкылданган күрөңкөмүр (лигнит), органикалык калдыктардан алынган гумус жана глауконит) техникалык, химиялык жана физикалык мүнөздөмөлөрүн аныктоо боюнча изилдөөлөрдү камтыган. Кычкылданган күрөң көмүргө (лигнит), органикалык калдыктардан алынган гумуска жана глауконитке негизделген байытылган гуминдик органоминералдык жер семирткичти өндүрүүнүн натыйжалуулугу жана мүмкүнчүлүгү эксперименталдык түрдө аныкталган.

Изилдөөдө гуминдик органоминералдык жер семирткичти өндүрүүнүн негизги процесс-тик параметрлери каралып, байытылган органоминералдык жер семирткичти колдонуунун мүмкүнчүлүгү талданган. Изилдөөдө гуминдик кислоталар көп компоненттүү жана гетерогендүү экени, алардын химиялык формуласы жана курамы боюнча өзгөрмөлүүлүгү менен мүнөздөлөрү аныкталган. Калифорниялык кызыл сөөлжандар (*Eiseniafoetida*) тарабынан иштетилген гумусту колдонуу менен алынган гумусту колдонуу, ошол эле учурда анны Кыргызстандагы Кызыл-Токой кенинен табылган табигый минералдан алынган глауконит менен байытуу сунушталууда. Изилдөө ошондой эле лабораторияда алынган жер семирткич үлгүсү практикалык колдонуу үчүн зарыл болгон касиеттерге ээ экенин аныктады. Изилдөөнүн жыйынтыктары органикалык дыйканчылыкка инновациялык ыкмаларды иштеп чыгуу жана ишке ашыруу үчүн практикалык жактан потенциалдуу мааниге ээ.

**Негизги сөздөр:** кычкылданган күрөң көмүр (лигнит), гумин кислоталары, глауконит минералы, гуминдик органоминералдык жер семирткич, топурак.

**Аннотация.** Актуальность исследования определяется высокой агрономической ценностью гуминовых веществ как природных органических соединений с активными функциональными группами. Целью исследования было изучение особенностей природного минерала глауконита Кызыл-Токойского месторождения Кыргызстана для разработки способа получения органоминерального удобрения на основе окисленного бурого угля (лигнита), гумуса и глауконита. В ходе работы были проведены исследования по определению технических, химических и физических характеристик исходного сырья (окисленного бурого угля (лигнита), гумуса из органических отходов и глауконита). Экспериментально установлена эффективность и возможность реализации процесса получения обогащенного гуминового органоминерального удобрения на основе окисленного бурого угля (лигнита), гумуса из органических отходов и глауконита.

В результате исследования основных критериев технологического процесса получения гуминового органоминерального удобрения проанализирована возможность использования обогащенного органоминерального удобрения. В ходе исследования установлено, что гуминовые кислоты обладают свойствами поликомпонентности и гетерогенности, характеризуются изменчивостью химической формулы и состава. Предлагается использовать гумус, переработанный красными калифорнийскими червями *Eiseniafoetida*, для улучшения компонентного состава получаемого гуминового удобрения, одновременно обогащая его за счет внесения глауконита из природного минерала Кызыл-Токойского месторождения в Кыргызстане. В ходе исследования установлено, что полученный в лабораторных условиях образец удобрения обладает необходимыми свойствами для потенциального практического применения. Результаты исследования представляют потенциальную практическую ценность для разработки и внедрения инновационных подходов к органическому земледелию.

**Ключевые слова:** окисленный бурого уголь (лигнит), гуминовые кислоты, глауконитовый минерал, гуминовое органоминеральное удобрение, почва.

**Abstract.** The relevance of this study is determined by the high agronomic value of humic substances as natural organic compounds with active functional groups. The aim of this study was to investigate the properties of the natural mineral glauconite from the Kyzyl-Tokoy deposit in Kyrgyz-

stan in order to develop a method for producing an organomineral fertilizer based on oxidized brown coal (lignite), humus, and glauconite. This work included studies to determine the technical, chemical, and physical characteristics of the feedstock (oxidized brown coal (lignite), humus from organic waste, and glauconite). The efficiency and feasibility of producing an enriched humicorganomineral fertilizer based on oxidized brown coal (lignite), humus from organic waste, and glauconite were experimentally established.

The study examined the key process parameters for producing humicorganomineral fertilizer, and analyzed the feasibility of using the enriched organomineral fertilizer. The study established that humic acids are polycomponent and heterogeneous, characterized by variability in their chemical formula and composition. It is proposed to use humus processed by Californian red earthworms (*Eisenia foetida*) to improve the component composition of the resulting humic fertilizer, simultaneously enriching it with glauconite from a natural mineral found in the Kyzyl-Tokoi deposit in Kyrgyzstan. The study also established that the fertilizer sample obtained in the laboratory possesses the necessary properties for potential practical application. The results of the study have potential practical value for the development and implementation of innovative approaches to organic farming.

**Keywords:** oxidized brown coal (lignite), humic acids, glauconite mineral, humicorganomineral fertilizer, soil.

### Введение

Возрастающее давление на окружающую среду обуславливает необходимость комплексного регулирования баланса экосистем. Интенсивное развитие землепользования в аграрном секторе привело к чрезмерной химизации почв, эрозии, засолению и снижению содержания органического вещества. Возникает проблема поиска безопасных решений в области удобрений, отвечающих потребностям природной среды. Такие удобрения представляют собой физиологически активные соединения природного происхождения, в том числе гуминовые вещества (ГВ), которые присутствуют в природных водах, торфе, сапропеле и в окисленных бурых углях (лигните). Они составляют основную часть органического вещества твердых ископаемых топлив, особенно верхнего окисленного слоя. Природные гуминовые кислоты (ГК) представляют собой группы природных азотсодержащих органических кислот. Они встречаются преимущественно в торфе, в окисленном буром угле (лигните) и выветренном каменном угле. Молекулы ГК содержат ароматические группы. При этом молекулярные формы могут быть весьма разнообразны, что определяется природными особенностями источника их образования, а также спецификой биохимических реакций, протекающих в процессе формирования. Определенное влияние оказывают также условия геохимического преобразования.

В результате интенсивного землепользования запасы гумуса в почве снижаются. В период 2010–2024 гг. характерен отрицательный баланс питательных веществ и гумуса в почвах сельскохозяйственных угодий южного региона Кыргызстана. Органоминеральные удобрения (ОМУ) оказывают положительное влияние на растения: повышают устойчивость растений, урожайность и плодородие почвы. Кыргызстан позиционируется как импортзависимый по удобрениям, что обусловлено отсутствием собственного производства как химических, так и органических удобрений.

Многие научные исследования посвящены вопросу инновационных решений в области агрохимии. Н.Т. Алдашева [1] исследовала процесс получения гуминовых удобрений из окисленного угля методом электролиза. Т.Б. Жолдошова [2] проанализировала возможности использования гуминовых удобрений из окисленного угля. В то же время А.А. Анарбаев и др. [3] рассмотрены вопросы получения и функционирования гуминовых соединений в качестве природных минеральных удобрений. Ж.Б. Казангельдина, Ш. Джапарова и др. [4] разработали меры по повышению плодородия земель Кыргызстана с использованием гуминовых биоудобрений. Аналогично, Б. Омаров и др. [5] исследовали возможности и методы получения гуматсодержащих удобрений из лигнита. М.З. Абдиев и соавторы [6] обосновали теоретико-методологические основы развития ин-

новационного сельского хозяйства в Кыргызстане, предложив эффективные решения актуальных проблем отрасли, применение и регулирование долгосрочных стратегических показателей. В исследовании особое внимание уделено методам внесения органических удобрений. В. Кожогулова и соавторы [7] проанализировали тенденции и особенности развития сельского хозяйства в условиях евразийской интеграции, уделив особое внимание органическому сельскохозяйственному производству. В продолжение, И. Таранов и Й. Кавабата [8] выявили такие проблемы, как недостаточная инфраструктура и знания, которые необходимо решать путем усиления государственного участия и сотрудничества между заинтересованными сторонами органического сектора.

Несмотря на значительный научный интерес к данной проблеме, многие аспекты остаются неизученными. В свете современных тенденций развития органического земледелия и устойчивого развития сельского хозяйства приоритетное внимание уделяется восстановлению защитной функции почв и экологического равновесия, а также внедрению инновационных подходов к мониторингу состояния земель. В рассмотренных исследованиях не рассматриваются инновационные возможности, которые могут способствовать развитию потенциала использования гуминовых органоминеральных удобрений в современных условиях.

Целью исследования было расширенное изучение характеристик природного минерала глауконита как ключевого компонента современного гуминового органоминерального удобрения. Для достижения поставленной цели было решено несколько исследовательских задач: проведение исследований по определению технических, химических и физических характеристик исходного сырья (окисленного лигнита, гумуса органических отходов и глауконита); установление эффективности и технологичности процесса получения обогащенного гуминового органоминерального удобрения на основе окисленного угля (лигнита), гумуса органических отходов и глауконита; изучение возможностей улучшения компонентного состава получаемого гуминового удобрения.

## 2. Материалы и методы

В ходе исследования использовался метод научного эксперимента. С помощью физико-химических, технических и технологических методов были определены состав и технологические показатели окисленного бурого угля (лигнита) месторождения Кызыл-Кый (Абширская площадь). Изучен компонентный состав образца глауконитового минерала месторождения Кызыл-Токой (Кыргызстан).

Три образца бурого угля (лигнита) месторождения Кызыл-Кыя (участок Абшир) были проанализированы с помощью рентгеновской дифрактометрии в Институте геологии им. Мусы Адышева Национальной академии наук КР. Химический анализ глауконитовых песчаников на содержание  $K_2O$  проводился в химической лаборатории. Критерии отбора образцов основывались на их репрезентативности для КР и Центрально-Азиатского региона.

Комплекс исследований включал следующие виды исследований: гранулометрический анализ для определения гранулометрического состава рыхлых пород; химический анализ для определения содержания элементов. Химический анализ включал определение содержания элементов на спектрометре Optima 2000 DV; содержание ионов Na, Ca, K и Mg определялось методом вытеснения обменных катионов раствором хлорида алюминия. Далее был выполнен термогравиметрический анализ (ДТА-ДТГ, ТГ-ДСК) – группа методов, в которых свойства образца контролируются в зависимости от времени или температуры, при этом температура образца в каждой атмосфере программируется, а также оптическая и электронная микроскопия. Электронный парамагнитный анализ использовался для определения концентрации и идентификации парамагнитных частиц.

Далее был проведен рентгенофазовый анализ (количественный и качественный). Рентгенофазовый анализ проводился на автоматическом дифрактометре ДРОН-4 с  $CuK\alpha$  - излучением и  $\beta$  - фильтром. Условия получения дифрактограммы:  $U = 35$  кВ;  $I = 20$  мА; постоянная времени 2 с;  $\theta$ - $2\theta$  регистрация; масштаб: 2000 имп/с; детектор 2 град/мин.

Рентгеноструктурный анализ (РФА) проводился на основе дифрактограмм порошковых образцов. Интерпретация дифрактограмм проводилась с использованием информации из архива Американского общества по испытанию материалов (American Society for Testing and Materials) и дифрактограмм минералов, очищенных от примесей. Далее были использованы метод низкотемпературной адсорбции азота и дифференциальный термомагнитный метод. Анализ состава окисленного лигнита месторождения Кызыл-Кыя (участок Абшир) проводился в лаборатории Института природных ресурсов им. Акматбека Джаманбаева Национальной академии наук КР.

Для разработки органического удобрения исходное сырье – окисленный бурый уголь (лигнит) – было подготовлено путем измельчения в мельнице до размера гранул 0,25–0,10 мм. После подготовки всех необходимых компонентов порошок окисленного угля в соотношении 1:10 смешивали с водой и выщелачивали твердым гидроксидом калия при температуре 60–80 °С. Полученную смесь перемешивали мешалкой в течение 6–8 часов. После этого к полученной смеси  $H_2O:C:KOH$  (вода:уголь:щелочь) добавляли: гумус, полученный с использованием красных калифорнийских червей, *Eisenia foetida*, глауконит после его извлечения из состава природного глауконитсодержащего песка Кызыл-Токойского месторождения в Кыргызстане.

После завершения процесса водорастворимую и нерастворимую части смеси разделяли центрифугированием. Раствор смеси сливали в емкость для розлива. Полученный продукт анализировали в специализированной токсикологической лаборатории Департамента химизации, защиты и карантина растений Министерства сельского хозяйства КР.

### 3. Результаты и обсуждение

В период с 2015 по 2024 год интерес к органо-гуминовым удобрениям значительно возрос. Это связано с активным развитием органического земледелия и общей экологизацией аграрного сектора. Повышение устойчивости землепользования, в первую очередь, предполагает внедрение инновационных агротехнологий, минимизацию химической обработки почвы и интеграцию современных биологических методов защиты растений.

Процесс образования УВ основан на принципе естественного отбора. При этом осуществляется естественный отбор структур, наиболее устойчивых к биодegradации. Результатом этого отбора является вероятностная смесь молекул, имеющая стохастическую природу [9].

Идентичность соединений в смеси отсутствует. Гуминовые соединения представляют собой смесь природных веществ на основе гетероциклических и ароматических группировок, алициклических и алифатических группировок, а также функциональных группировок.

Состав гуминовой кислоты характеризуется уникальным химическим составом и свойствами фульвово́й кислоты, входящей в группу гуминовых кислот. Кислота обладает растворимостью в воде, щелочах и кислотах, что обуславливает связанную с этим свойством подвижность [10]. Водные растворы фульвокислот имеют кислую реакцию (рН 2,6–2,8) и поэтому оказывают разрушающее действие на минералы. Наличие большого количества фенолгидроксильных и карбоксильных групп обуславливает высокую способность связывать катионы (до 200–670 мг экв на 100 г кислоты) [11].

Образцы лигнита месторождения Кызыл-Кый (участок Абшир) представлены на рисунке 1.



Рисунок 1. Образцы угля месторождения Кызыл-Кый (участок Абшир)

Образец «u1» по своим характеристикам (цвет, твёрдость) больше соответствует углю, тогда как образцы «u2» и «u3» представляют собой примеси в угольных пластах. Результаты анализа образца «u1» представлены на рисунке 2.

В образце «u1» были идентифицированы следующие элементы: углекислый газ  $\text{CO}_2$  в количестве 65,2%; минерал штихтингит – 11,2%; редкий минерал мунирит, являющийся продуктом изменения минералов ванадия и урана – 9,8%; сера в количестве 9,5%; крем-

ний – 2,8%; уран – 1,5%. Образец «u2» в ходе анализа был идентифицирован как гидрокальюмит. Это минерал группы гидроталькита (гидроксиды). Минерал имеет структуру  $\text{Ca}_4\text{Al}_2[\text{OH}]_{14}\cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , моноклинную, псевдогексагональную, удельный вес 2,15. Бесцветный, зеленоватый. В природе образуется на контакте метаморфизованных известняков на поздней стадии в скарнах [13]. В образце «u3» были идентифицированы следующие элементы: углекислый газ  $\text{CO}_2$  в количестве 68,7%; минерал глоуконит – 15,3%; сера в количестве 11,5%; кремний – 4,5%.

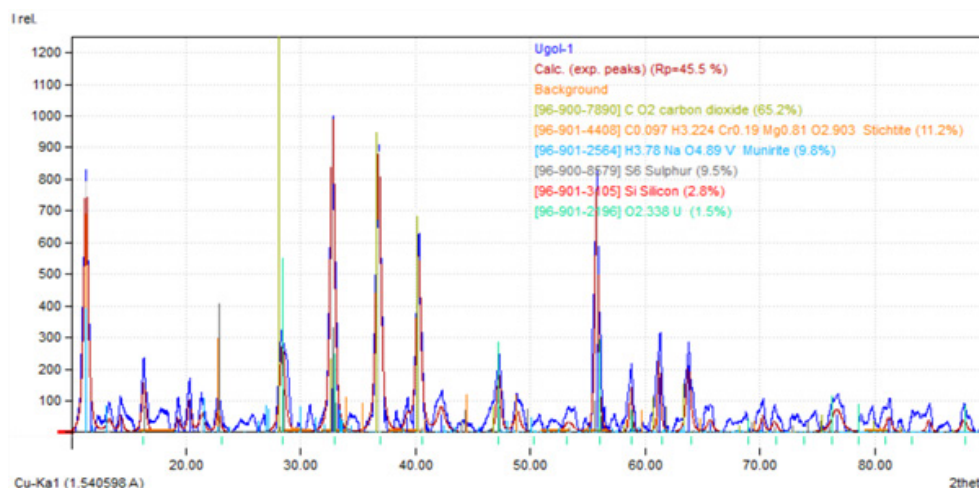


Рисунок 2. Диаграмма дифракционных полос образца «u1»

В ходе работы был изучен компонентный состав образца глауконитовых минералов месторождения Кызыл-Токой в Кыргызстане. С использованием спектрометра с индукционно-связанной плазмой «Optima 2000 DV» при температуре 100000 К были изучены особенности катионного обмена, определено содержание ионов K, Na, Ca, Mg.

Исследование глауконитсодержащего природного минерала – глауконитового песка (рис. 3) месторождения Кызыл-Токой проводилось в лаборатории Национальной академии наук КР. Проведенный ранее химический анализ глауконитовых песчаников на содержание  $\text{K}_2\text{O}$  показал значения в диапазоне 2,6-5,3%.

Количественное соотношение кристаллических фаз определялось методом рентгеноструктурного анализа. Фазовый состав и межплоскостные расстояния образца глауконитового концентрата представлены в таблице 1. Наибольшие значения межплоскостных расстояний зафиксированы для

слоистого силикатного минерала (ССМ), глауконита и кальцита. Максимальные значения фазового состава характеризуют относительную интенсивность рентгеновских рефлексов ССМ и глауконита. Дифрактограмма образца глауконитового концентрата представлена на рисунке 4.



Рисунок 3. Концентрат глауконитового песка

Таблица 1. Фазовый состав и межплоскостные расстояния образца глауконитового концентрата

d, Å	I, %	Mineral
10.427	85	LSM
4.573	83	Glauconite
3.352	73	Glauconite
3.039	76	Calcite
2.604	87	Glauconite
2.427	77	Glauconite
2.285	73	Calcite
2.091	75	Calcite
2.008	68	Glauconite
1.668	79	-
1.522	92	LSM
1.508	84	Glauconite

Дифрактограмма характеризуется положением и интенсивностью дифракционных максимумов. Дифрактограмма образца глауконитового концентрата демонстрирует наибольшие значения интенсивности для LSM и глауконита. Интерпретация дифрактограмм проводилась с использованием информации из картотеки Американского общества по испытаниям материалов и диф-

рактограмм минералов, очищенных от примесей.

В лаборатории разработана технология получения опытного образца органоминерального удобрения. В результате впервые разработан способ получения органоминерального удобрения на основе окисленного бурого угля (лигнита) Кызыл-Кийского месторождения (участок Абшир).

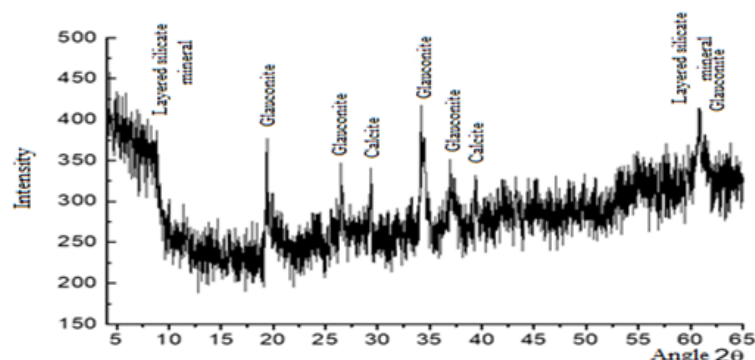


Рис. 4. Дифрактограмма образца глауконитового концентрата

Перед внедрением технологии производства ОМУ были проведены исследования зольности и влажности. Первичная подготовка сырья – окисленного бурого угля – осуществлялась путем измельчения в мельнице до размера гранул около 0,25–0,10 мм. Для обеспечения компонентного состава получаемого гуминового органо-минерального удобрения необходимым количеством основных элементов питания растений, калия, фосфора, азота, гуминовых веществ и ми-

кроэлементов, необходимых для физиологических процессов растительного организма: магния, кальция, железа и др., в состав удобрения вносили гумус, переработанный красными калифорнийскими червями *Eiseniafoetida*, с одновременным обогащением его глауконитом из природного минерала Кызыл-Токойского месторождения в Киргизской Республике. Результаты рентгенофлуоресцентного анализа гуматного удобрения представлены на рисунке 5.

Таблица 2. Результаты анализа гуматного удобрения

Elements	Concentration, %	Error, %	Peakvalues (cps/mA)	Backgroundvalues (cps/mA)
Al	3.08	0.047	97	12
Si	16.29	0.071	891	-117
K	26.85	0.05	18227	-3287
Ca	34.93	0.06	22949	-2796
Cu	0.08	0.0061	50	18
Zn	0.39	0.0073	407	-18
Rb	0.09	0.0024	519	41
Sr	0.32	0.0035	2056	-29
Y	0.03	0.0022	204	381
Zr	0.07	0.003	544	677
Ti	1.61	0.024	210	-4
V	0.09	0.018	11	54
Mn	0.34	0.0089	148	73
Fe	15.84	0.033	10219	-540

**Примечание:** концентрация – %, погрешность – %, пиковые значения – имп/с/мА, фоновые значения – имп/с/м.

После завершения процесса производства гранулированного органо-минерального удобрения водорастворимая и нераствори-

мая части смеси разделяются центрифугированием. Затем раствор смеси переливается в фасовочный бак. Результаты анализа представлены в таблице 3.

Таблица 3. Результаты анализа продукта

Certain indicators	Analysis results	Norm
Appearance, colour	Homogeneous suspension of dark brown colour	Dark brown to black
Mass fraction of moisture, %	68.5	65-80
Mass fraction of organic matter (in terms of dry matter), %	73.9	50-90
Mass fraction of humic acids (in terms of dry matter) not less than, %	27.5	10
Mass fraction of total nitrogen (calculated on dry matter) not less than, %	2.2	0.8
Mass fraction of total phosphorus $P_2O_3$ (in terms of dry matter) not less than, %	2.6	1.0
Mass fraction of mobile phosphorus, mg/kg	200	200-300
Mass fraction of total potassium $K_2O_3$ (calculated on dry matter) not less than, %	1.4	0.1

**Примечание:** стандарт определен относительно ККМ ГОСТ Р 50335-92 [12].

После завершения процесса производства гранулированного органоминерального удобрения водорастворимая и нерастворимая части смеси разделяются ситы. Затем раствор смеси переливается в фасовочный бак.

Перспективность использования гумата калия для удобрения почвы обусловлена его составом, содержащим множество микроэлементов, необходимых для урожайности сельскохозяйственных культур (медь, железо, молибден, бор, марганец, цинк), которые улучшают процессы жизнедеятельности растений, усвоение аминокислот, гормонов, сахаров, витаминов, а также оптимизируют водно-кислородный обмен, являющийся основой синтеза белка, фотосинтеза и деления клеток [12]. Повышение питательной ценности урожая с помощью ГК способствует увеличению содержания клетчатки и питательных веществ. В случае минеральных удобрений одновременное применение ГК стимулирует усвоение синтетических минералов [13].

Практический опыт показывает, что внесение гумата калия в почву увеличивает зе-

леную массу и корневую систему растений до 15-20%, что влияет на урожайность. Кроме того, гумат калия является важным природным иммуностимулятором, защищающим растения от грибков и плесени [14, 15].

Многие исследования подтверждают необходимость перехода на экологически чистые методы удобрения почв и защиты растений. Э.М. и Б.М. Карунатилаке и соавторы [16] предложили позиционировать этот подход к органическому земледелию как оптимальный. Предложенная концепция позволяет значительно улучшить качество продукции, экологические показатели и уровень здоровья населения. Выводы Э.М. и Б.М. Карунатилаке и соавторы коррелируют с результатами настоящего исследования.

В продолжение, М.И. Абдулрахим и соавторы [17] исследовали специфику органического земледелия, подчеркивая влияние глобальной климатической динамики на производство сельскохозяйственных культур. Проведен анализ потенциальных экологических рисков для адаптивных возможностей агроэкосистем. Учёные доказали, что в системе смягчения негативных последствий

изменения климата первостепенное значение имеют оптимизация экологичности производства, внедрение инновационных технологий и передовых технологических процессов.

Результаты исследований А. Тавакола и соавторов [18], Й. Чена и соавторов [19] подчеркнули критериальность оценки эффективности экологических, социально-экономических и управленческих мер, направленных на интенсификацию процесса экологизации сельскохозяйственного производства, что значительно повышает конкурентоспособность предприятий – участников международного аграрного рынка.

Более того, ученые акцентировали внимание на трудностях внедрения инновационных агротехнологий в условиях кризисной экономики, в частности, на необходимости законодательного регулирования и стимулирования деятельности в исследуемой отрасли, что отодвигает на второй план вопрос экологизации сельского хозяйства.

Многие ученые, например, Дж. Пэн и соавторы [20] считают, что в будущем главенствующая роль должна отводиться современным инновационным методам удобрения почв. Исследователи отметили эффективность органо-гуминовых удобрений, содержащих гуматы. Авторы рекомендовали использовать их преимущественно на малоплодородных глинистых и песчаных почвах, карбонатных и щелочных почвах с низким содержанием железа. Кроме того, на плодородных черноземах гуминовые кислоты не дадут ожидаемого интенсифицирующего эффекта, но при этом будут способствовать поддержанию высокого уровня плодородия почвы.

Среди современных подходов к изучению данной темы Й. Ли [21] выделяет приоритетное свойство гуминовых кислот преобразовывать физические свойства почв. Ученый установил, что углеродно-гуминовые удобрения увеличивают капиллярную влагоемкость почвы, улучшают ее структуру и снижают ее плотность. Сравнивая выводы исследователя с результатами настоящей работы, необходимо подчеркнуть синергию различных методов органического земледелия с точки зрения улучшения качества почвы. Эта идея частично рассматривалась К. Ампонгом и соавторами [22]. По мнению

учёных, гуминовые удобрения являются мощным стимулятором урожайности, оказывая качественное воздействие на растения в прямом и косвенном аспектах. Прямое действие заключается в прямой регуляции развития растений в течение всего вегетационного периода. Косвенное действие гуминовых удобрений заключается в оптимизации водно-физических свойств почв, интенсификации миграции полезных органических веществ при одновременном связывании токсичных веществ, в том числе тяжёлых металлов. Необходимо актуализировать это направление для Кыргызстана в контексте национальных и региональных программ по экологизации сельского хозяйства.

Глубокая реконструкция и регенерация сельскохозяйственных угодий в Кыргызстане должна проводиться на основе научно обоснованных рекомендаций в рамках целевых государственных и международных программ.

Сочетание инновационных подходов к мониторингу состояния земель и экстенсивных технологий земледелия позволяет достичь желаемых результатов в короткие сроки. Современные возможности информационных технологий позволяют использовать геоинформационные системы, спутниковые наблюдения и другие достижения научно-технического прогресса для оптимизации и индивидуализации процесса сельскохозяйственного производства.

### **Выводы**

Результаты исследования подтверждают высокую эффективность использования органо-минеральных удобрений на основе природного сырья из Кыргызстана. Впервые разработана и успешно апробирована технология получения гуминового органо-минерального удобрения на основе окисленного угля (лигнита) месторождения Кызыл-Кыя (участок Абшир), органо-гумуса, переработанного с участием красных калифорнийских червей (*Eisenia foetida*), и природного глауконита месторождения Кызыл-Токой.

Комплексный химико-минералогический и спектральный анализ подтвердил соответствие продукта требованиям, предъявляемым к современным агрохимикатам.

В ходе исследования установлено, что полученное удобрение содержит полный

комплекс макро- и микроэлементов, необходимых для нормального роста и развития растений: калий, фосфор, азот, кальций, магний, железо, марганец и цинк. Это не только улучшает питательную среду, но и активизирует физиологические процессы: фотосинтез, деление клеток, синтез белка, водный и кислородный обмен.

Применение гуминовых кислот способствует значительному увеличению биомассы растений и укреплению корневой системы на 15–20%. Гумат калия также обладает антистрессовым, фунгицидным и иммуномодулирующим действием, повышая устойчивость растений к неблагоприятным факторам.

С экологической точки зрения, гуминовые удобрения способствуют восстановле-

нию плодородного слоя почвы, снижению её кислотности и засолённости, а также формированию устойчивой агроэкосистемы. Благодаря своей универсальности гумат калия может использоваться для обработки семян, опрыскивания и полива, а также при выращивании широкого спектра культур: зерновых, овощных, технических, бобовых и плодово-ягодных.

Исследование ограничено отсутствием полного доступа к соответствующим данным и сложностью экспериментальной проверки теоретических выводов. Изучение потенциала гуминовых кислот в восстановлении защитных функций почв и экологического равновесия в рамках концепции устойчивого развития сельского хозяйства в Кыргызстане должно стать приоритетным направлением дальнейших научных и практических работ в этом направлении.

#### Список литературы:

1. Джапарова Ш., Сабиров Б. З., Бактыбай кызы Назира, Кушбакова Г. Т., Сапарбаев С. Т. Известия Национальной академии наук Кыргызской республики <https://ilim.naskr.kg/index.php/main/article/view/352>
2. Таскаев, Н.Д. 1971. Получение гуминовых удобрений из окисленных углей Кызыл-Кия методом жидкофазной аммонизации. *Материалы I науч.-техн. конф. по использованию углей Киргизии: тр. Фрунз. политехн. ин-та*. Фрунзе. С. 288-293. <https://cyberleninka.ru/article/n/poluchenie-guminovyh-veschestv-iz-okislennyh-ugley-uzgenskogo-mestorozhdeniya-s-aktivirovannoy-vodoy-poluchenny-metodom-elektroliza>
3. Жолдошова Т.Б., Сабитов Э.В., Арзиев Ж.А., Исмаилов М.И. 2014. О возможности использования термически и химически активированных глауконитов. *Труды ОшТУ*, 2(2). <http://vestnik.oshtu.kg/index.php/139-statii/izvestiya-2-2014-2/problemy-tekhnicheskikh-nauk>
4. Анарбаев, А.А., Кабылбекова, Б.Н., Хусанов, Ж.Е., Орманова, Г.М. 2025. Исследование процесса получения комплексного фосфогуматного минерального удобрения. *Известия Академии наук Республики Казахстан. Серия «Химия и технология»*, 1(462), 5-20. <https://doi.org/10.32014/2025.2518-1491.262>
5. Казангельдина, Ж.Б., Джапарова, Ш., Токтосункызы, К., Кушбакова, Г.Т., Сабирова, Н.Б. 2023. Разработка мероприятия по использованию гуминового биоудобрения для повышения плодородия земель Южного региона Кыргызстана. В: *Материалы Международной научно-практической конференции «Новые возможности устойчивого развития горных регионов: инновации и сотрудничество»*, посвященной 60-летию Ошского технологического университета имени Мусы Адышева (с. 159-163). Ош: Ошский технологический университет. <http://science.oshtu.kg/wp-content/uploads/2024/10/kazangeldina-zhanna-bakytzhanovna.pdf>
6. Джапарова, Ш., Борубаев, С.А., Сабиров, Б.З., Артыкбаева, С.Ж. 2022. К вопросу не топливного использования низкосортных окисленных бурых углей Кыргызстан. *Тенденции развития науки и образования*. DOI:10.18411/trnio-05-2022-416
7. Abdiev, M. Z., Toktorov, K. K., Abdrakhmanov, O. E., Momunov, U. N., Ergeshov, K. A. 2024. Ways to Improve the Innovative Development of Kyrgyz Agriculture. In *Sustainable Development of the Agrarian Economy Based on Digital Technologies and Smart Innovations* (pp. 51-54). Cham: Springer Nature Switzerland. <https://doi.org/10.1007/978-3-031-51272-89>

8. Kozhogulova, V., Mardaliev, L., Kozhomkulova, A., Sheralieva, Z. 2023. Sustainable development of the agricultural sector of Kyrgyzstan in an integrated environment. In *AIP Conference Proceedings*. Vol. 2612. No. 1. AIP Publishing. <https://doi.org/10.1063/5.0113043>
9. Bergstrand, K. J. 2022. Organic fertilizers in greenhouse production systems—a review. *Scientia Horticulturae*. Vol. 295. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110855>
10. Rasouli, F., Nasiri, Y., Asadi, M., Hassanpouraghdam, M. B., Golestaneh, S., Pirsarandib, Y. 2022. Fertilizer type and humic acid improve the growth responses, nutrient uptake, and essential oil content on *Coriandrum sativum* L. *Scientific reports*. Vol. 12(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-022-11555-4>
11. Sarlaki, E., Kianmehr, M. H., Kermani, A. M., Ghorbani, M., Javid, M. G., Rezaei, M., Chen, X. 2023. Valorizing lignite waste into engineered nitro-humic fertilizer: Advancing resource efficiency in the era of a circular economy. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*. Vol. 36. <https://doi.org/10.1016/j.scp.2023.101283>
12. Jing, J., Zhang, S., Yuan, L., Li, Y., Lin, Z., Xiong, Q., Zhao, B. 2020. Combining humic acid with phosphate fertilizer affects humic acid structure and its stimulating efficacy on the growth and nutrient uptake of maize seedlings. *Scientific Reports*. Vol. 10(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-020-74349-6>
13. Национальный стандарт Кыргызской Республики. КМС ГОСТ Р 50335:2022. <http://standarts.nism.gov.kg/uploads/demo/pdf/7d84524eda99359953d5d3a0e45ee6ed.pdf>
14. Tiwari, J., Ramanathan, A. L., Baudh, K., Korstad, J. 2023. Humic substances: Structure, function and benefits for agroecosystems—A review. *Pedosphere*. Vol. 33(2). Pp. 237-249. <https://doi.org/10.1016/j.pedsph.2022.07.008>
15. Xiong, Q., Wang, S., Lu, X., Xu, Y., Zhang, L., Chen, X., Ye, X. 2023. The effective combination of humic acid phosphate fertilizer regulating the form transformation of phosphorus and the chemical and microbial mechanism of its phosphorus availability. *Agronomy*. Vol. 13(6). <https://doi.org/10.3390/agronomy13061581>
16. Parpieva, N., Matikeyeva, N., Sheralieva, Z., Adylbekova, N., & Amatova, U. 2023. Resource potential for the sustainable development of agriculture in the Kyrgyz Republic. In *E3S Web of Conferences*. Vol. 380. EDP Sciences. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202338001022>
17. Mockeviciene, I., Repsiene, R., Amaleviciute-Volunge, K., Karcauskiene, D., Slepeliene, A., Lepane, V. 2022. Effect of long-term application of organic fertilizers on improving organic matter quality in acid soil. *Archives of Agronomy and Soil Science*. Vol. 68(9). Pp. 1192-1204. <https://doi.org/10.1080/03650340.2021.1875130>
18. Karunathilake, E.M.B.M., Le, A.T., Heo, S., Chung, Y.S., Mansoor, S. 2023. The Path to Smart Farming: Innovations and Opportunities in Precision Agriculture. *Agriculture*. №13. <https://doi.org/10.3390/agriculture13081593>
19. Abdulraheem, M.I., Zhang, W., Li, S., Moshayedi, A.J., Farooque, A.A., Hu, J. 2023. Advancement of Remote Sensing for Soil Measurements and Applications: A Comprehensive Review. *Sustainability*. Vol. 15. <https://doi.org/10.3390/su152115444>
20. Tavakol, A., McDonough, K. R., Rahmani, V., Hutchinson, S. L., Hutchinson, J. S. 2021. The soil moisture data bank: The ground-based, model-based, and satellite-based soil moisture data. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*. Vol. 24. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2021.100649>
21. Chen, Y., Feng, X., Fu, B. 2021. An improved global remote-sensing-based surface soil moisture (RSSM) dataset covering 2003–2018. *Earth System Science Data*. Vol. 13(1). Pp. 1–31. <https://doi.org/10.5194/essd-13-1-2021>
22. Peng, J., Tanguy, M., Robinson, E. L., Pinnington, E., Evans, J., Ellis, R., Dadson, S. 2021. Estimation and evaluation of high-resolution soil moisture from merged model and Earth observation data in the Great Britain. *Remote Sensing of Environment*. Vol. 264. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2021.112610>

УДК 621.57:662.76

**Жапаркулов Асилбек Маматович**

*Ош мамлекеттик университетинин ага окутуучусу,  
Ош, Кыргыз Республикасы.*

*Электрондук дарегу: [zhaparkulov1970@mail.ru](mailto:zhaparkulov1970@mail.ru).*

**ЖЫЛУУЛУК МЕНЕН КАМСЫЗДОО ҮЧҮН ЭНЕРГИЯНЫ ҮНӨМДӨӨЧҮ СУУТЕКТИН  
НЕГИЗИНДЕГИ АВТОНОМДУУ ТҮЗҮЛҮШТҮ ИШТЕП ЧЫГУУ**

**Жапаркулов Асилбек Маматович,**

*старший преподаватель Ошского государственного университета,  
Ош, Кыргызская Республика*

**РАЗРАБОТКА И СОЗДАНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОЙ АВТОНОМНОЙ  
СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ ВОДОРОДНОЙ ЭНЕРГИИ**

**Zhaparkulov Asilbek Mamatovich,**

*Senior lecturer at Osh State University, Osh, Kyrgyz Republic*

**DEVELOPMENT AND DESIGN OF AN ENERGY-EFFICIENT AUTONOMOUS  
HEAT SUPPLY SYSTEM BASED ON HYDROGEN ENERGY**

*Ошский государственный университет, Ош, Кыргызская Республика  
Ош мамлекеттик университети, Ош, Кыргыз Республикасы  
Osh State University, Osh, Kyrgyz Republic*

**Аннотация.** Бул макалада жылуулулук менен камсыздоо системалары үчүн энергияны үнөмдөөчү жана экологиялык жактан таза технологияны иштеп чыгуу маселеси каралган. Изилдөөнүн максаты — суутек энергиясын пайдаланган автономдуу жылуулулук системасын долбоорлоо жана анын энергетикалык натыйжалуулугун, техникалык параметрлерин жана экологиялык артыкчылыктарын баалоо болуп саналат. Методологиялык негиз катары системалуу инженердик ыкмалар, термодинамикалык анализ жана эксперименттик моделдөө колдонулган. Изилдөөнүн жүрүшүндө суутек күйүүсүнүн физикалык процесстери, жылуулулук агымынын балансы жана энергия жоготуулары аныкталган. Алынган натыйжалар боюнча системанын орточо пайдалуу иш коэффициенти (КПД) 85% түзүп, салттуу электр жана газ системаларына салыштырмалуу 10–15% жогору көрсөткүчкө жеткен. Экономикалык эсептөөлөр эксплуатациялык чыгымдардын 20–25%га кыскарганын көрсөттү. Система толук автономдуу иштейт, эмиссия деңгээли нөлгө жакын. Иштелип чыккан технология чакан турак жай, мектеп жана лабораториялык объекттерде колдонууга ылайыктуу болуп, Кыргызстан үчүн энергияны үнөмдөөчү жана экологиялык жактан туруктуу чечим катары сунушталат.

**Ачкыч сөздөр:** суутек энергиясы, автономдуу жылытуу системасы, энергияны үнөмдөө, термодинамикалык анализ, экологиялык коопсуздук, жылуулулук натыйжалуулугу, кайра жаралуучу энергия, башкаруу блогу.

**Аннотация.** В статье рассматривается проблема разработки энергоэффективной и экологически чистой технологии для систем теплоснабжения. Цель исследования — проектирование автономной системы отопления, использующей энергию водорода, а также оценка её энергетической эффективности, технических параметров и экологических преимуществ. В качестве методологической основы применены системный инженерный подход, термодинамический анализ и экспериментальное моделирование. В ходе исследования определены

физические процессы сгорания водорода, баланс тепловых потоков и потери энергии. Согласно полученным результатам, средний коэффициент полезного действия (КПД) системы составил 85%, что на 10–15% выше показателей традиционных электрических и газовых установок. Экономические расчёты показали снижение эксплуатационных расходов на 20–25%. Система функционирует полностью автономно, уровень эмиссии вредных веществ близок к нулю. Разработанная технология может применяться в жилых домах, школах и лабораториях и является энергоэффективным и экологически устойчивым решением для климатических условий Кыргызской Республики.

**Ключевые слова:** водородная энергия, автономная система отопления, энергосбережение, термодинамический анализ, экологическая безопасность, тепловая эффективность, возобновляемая энергия, блок управления.

**Abstract.** This article addresses the development of an energy-efficient and environmentally friendly technology for heat supply systems. The purpose of the study is to design an autonomous heating system based on hydrogen energy and to evaluate its energy efficiency, technical parameters, and environmental advantages. The methodological framework includes a systematic engineering approach, thermodynamic analysis, and experimental modeling. During the study, the physical processes of hydrogen combustion, heat flow balance, and energy losses were determined. The obtained results show that the average efficiency (COP) of the system reached 85%, which is 10–15% higher compared to conventional electric and gas heating systems. Economic calculations demonstrated a reduction in operational costs by 20–25%. The system operates fully autonomously, with near-zero emissions of harmful substances. The developed technology can be effectively applied in residential buildings, schools, and laboratory facilities and represents an energy-efficient and environmentally sustainable solution suitable for the climatic conditions of the Kyrgyz Republic.

**Keywords:** hydrogen energy, autonomous heating system, energy efficiency, thermodynamic analysis, environmental safety, thermal performance, renewable energy, control unit.

### Киришүү

Энергиянын жеткиликтүүлүгү жана рационалдуу пайдаланылышы бүгүнкү күндө дүйнөлүк жана улуттук деңгээлде маанилүү стратегиялык маселелердин бири болуп эсептелет. XXI кылымдын башынан тарта энергия ресурстарынын табигый запастарынын азайышы, алардын баасынын өсүшү жана көмүр кычкыл газынын (CO<sub>2</sub>) эмиссиясынын көбөйүшү энергетикалык коопсуздукту камсыздоону мамлекеттердин негизги максаттарынын бири катары көрсөтүүдө [1; 2].

Кыргыз Республикасында бул көйгөй өзгөчө курч мүнөзгө ээ, анткени өлкө климаттык шарттарынан улам жылытуу мезгилинин узактыгы жана энергия керектөөсүнүн жогору болушу менен мүнөздөлөт. Аймактардын көпчүлүгүндө борборлоштурулган жылуулук менен камсыздоо тутумдары эскирген, ал эми жеке сектордо электр энергиясына жана көмүргө болгон көз карандылык энергиянын жоготууларына жана айлана-чөйрөгө терс таасирлерге алып келүүдө [3].

Ушундай шартта энергияны үнөмдөөчү автономдуу жылуулук системаларын иштеп чыгуу — заманбап инженердик-техникалык жана экологиялык көйгөйлөрдү чечүүнүн маанилүү багыты болуп саналат. Энергиянын альтернативдүү булактарынын ичинен суутек технологиялары өзүнүн жогорку энергетикалык натыйжалуулугу жана экологиялык коопсуздугу менен айырмаланат [4]. Суутек күйүү процессинде негизги продукт катары суу буусун гана бөлүп чыгарат, демек, анын колдонулушу көмүртек изин (carbon footprint) азайтууга өбөлгө түзөт.

Бул жумуш Кыргызстандын климаттык жана энергетикалык реалдуулугуна ылайык таза, кайра жаралуучу жана автономдуу жылуулук менен камсыздоочу системаны иштеп чыгууну максат кылат. Бул багыт «Энергетикалык коопсуздук жана туруктуу өнүгүү концепциясынын» (КР Өкмөтүнүн токтому №1578/1, 2023-ж.) негизги приоритеттеринин бири катары көрсөтүлгөн, ошондуктан бул жумуш бугунк кнд актуалдуу болуп эсептелинет.

Изилдөөнүн максаты болуп, энергияны үнөмдүү пайдалануучу, автономдуу, суутек негизиндеги жылуулук менен камсыздоо системасын иштеп чыгуу жана анын техникалык-экономикалык натыйжалуулугун баалоо эсептелинет. Изилдөөнүн объектиси болуп, жылуулук менен камсыздоочу автономдуу суутек түзүлүшү, анын конструкциялык элементтери жана иштөө алгоритми, ал эми предмети болуп, суутек энергиясын жылуулукка айландыруунун физикалык жана техникалык процесстери, ошондой эле энергиянын эффективдүү пайдаланылышынын мыйзамченемдүүлүктөрү эсептелишет.

Бул изилдөө Кыргыз Республикасынын Улуттук Илимдер Академиясынын “Энергетикалык ресурстарды үнөмдүү пайдалануу жана кайра жаралуучу энергия булактары” программасынын (2022–2025) приоритеттүү багытына шайкеш келет жана Кыргызстандын энергетикалык стратегиясында белгиленген “жашыл технологияларга өтүү” концепциясын ишке ашырууга өбөлгө түзөт.

Энергияны үнөмдөө жана кайра жаралуучу энергия булактарын колдонуу боюнча изилдөөлөр дүйнөлүк масштабда акыркы он жылдыкта кеңири өнүгүп, энергетикалык системалардын туруктуулугун камсыздоонун негизги багыты болуп калды. Эл аралык Энергетика Агенттигинин (IEA) маалыматы боюнча, дүйнөдөгү жалпы энергия керектөөнүн 30%дан ашыгы жылуулук менен камсыздоо тармагына туура келет, бул өз кезегинде глобалдык көмүр кычкыл газынын эмиссиясынын олуттуу бөлүгүн түзөт [1].

Энергияны үнөмдөөчү системаларды өнүктүрүүдө негизги көңүл альтернативдүү энергия булактарына, өзгөчө суутек технологияларына бурулууда. Суутек — эң жеңил элемент жана таза энергия булагы катары адамзаттын энергетикалык келечегинде маанилүү ролду ойной турган зат. Ал күйүү учурунда көмүртек кошундуларын эмес, суу буусун гана чыгарат, бул анын экологиялык артыкчылыгын шарттайт [2].

Суутек энергетикасынын концепциясын теориялык жана практикалык жактан өнүктүрүүгө негиз салган илимий изилдөөлөрдүн катарына Veziroglu T.N., Momirlan M., Ogden J.M., Holladay J.D., Turner J.A. жана башкалардын эмгектери кирет [3–6]. Алардын ишинде суутектин өндүрүш, сактоо, ташуу жана пай-

далануу процесстеринин термодинамикалык негиздери талданган.

Айрыкча Ogden (2018) өзүнүн эмгегинде “Hydrogen energy systems: Pathways to sustainability” аттуу ишинде суутек системаларынын туруктуулук деңгээлин баалоо үчүн интегралдык ыкма сунуштап, аны энергия менен камсыздоонун жаратылышка болгон таасиринин азайышы менен байланыштырат. Ал эми Momirlan жана Veziroglu (2005) суутектин отун катары колдонулушунун артыкчылыктарын терең талдап, анын жогорку энергия сыйымдуулугун (120–142 МДж/кг) жана узак мөөнөттүү сакталуусунун артыкчылыктарын белгилешкен.

Суутек технологияларын ишке ашыруу процессинде көпчүлүк өлкөлөр “Hydrogen Economy” концепциясын кабыл алып, аны улуттук энергетикалык стратегияларына интеграциялашкан. Мисалы, Япониянын ENE-FARM программасы (2010–2020) үй шартындагы суутек отун элементтерине негизделген жылытуу системаларын өнүктүрүүнү көздөгөн [7]. Ошондой эле Германия, Түштүк Корея жана АКШда автономдуу жылытуу түзүлүштөрүнүн прототиптери ийгиликтүү сыноодон өткөн.

Кыргызстан контекстинде илимий жана практикалык изилдөөлөр энергияны үнөмдөө жана кайра жаралуучу энергия булактарына өтүү маселелерине көбүнчө гидроэнергетика жана күн энергиясы аркылуу багытталган [8]. Бирок суутек энергетикасы боюнча комплекстүү инженердик изилдөөлөр али жетишсиз. Абдраев А.А. жана Жээнтаев К.Ж. (2021) өз эмгектеринде аймактык климаттык жана энергетикалык шарттарды эске алуу менен энергияны үнөмдөөчү системалардын моделин сунуштап, автономдуу түзүлүштөрдү иштеп чыгуунун потенциалын көрсөткөн [9].

Кыргызстандын түштүк аймактарында, мисалы, Ош, Жалал-Абад жана Баткен облустарында күн энергиясынын потенциалы жогору болгондуктан, суутек өндүрүшүн суу электролизи аркылуу жүргүзүү ыктымалдыгы реалдуу. Бул ыкма аркылуу алынган суутек жылытуу системаларынын отун катары колдонулушуна мүмкүндүк берет.

Ошентип, суутек технологияларынын негизги артыкчылыктары төмөнкүлөр болуп саналат:

- экологиялык коопсуздук — күйүүдө зыяндуу заттар бөлүнбөйт;
- энергиянын жогорку тыгыздыгы — 1 кг суутек 3 кг бензинге барабар энергия берет;
- кайра жаралуучу энергия булактары менен интеграциялануу мүмкүнчүлүгү (мисалы, күн жана шамал электростанциялары менен).

Бирок бул технологияны өнүктүрүүдө көйгөйлөр да бар — суутектин сактоо шарттары (жогорку басымда), өндүрүштүн өздүк наркы жана коопсуздук маселелери [10]. Ошондуктан автономдуу жылытуу системаларын долбоорлоодо инженердик жана технологиялык оптималдаштыруу чоң мааниге ээ.

Жыйынтыктап айтканда, каралган адабияттар суутек негизиндеги автономдуу жылуулук системалары энергетикалык натыйжалуулук, экологиялык туруктуулук жана коопсуздук принциптерин камсыз кыла турган келечектүү технология экенин көрсөтөт. Кыргызстанда бул багыттагы изилдөөлөрдү өнүктүрүү — улуттук энергетикалык стратегиянын “жашыл экономикага өтүү” концепциясын ишке ашыруунун логикалык уландысы болуп саналат.

**Методология жана эксперименталдык бөлүк**

Изилдөөнүн негизги методологиясы системалуу инженердик ыкмаларга, термодинамикалык анализге жана энергия балансынын эсептөөсүнө негизделет. Методологиялык жактан алганда, суутек энергиясын жылуулукка айландыруу процессин

изилдөө көп деңгээлдүү модель катары каралат, анын ар бир баскычы өзүнчө физикалык жана инженердик мыйзамченемдерге баш ийет [1].

Изилдөөнүн максаты — энергияны минималдуу жоготуу менен пайдалуу жылуулук энергиясын алуу. Бул үчүн жылуулук агымдарынын динамикасын жана ПАК көрсөткүчүн (пайдалуу аракет коэффициенти) аныктоо маанилүү.

Системанын иштөөсүн төмөнкү теңдеме менен түшүндүрүүгө болот:

$$Q_{\text{жалпы}} = Q_{\text{пайдалуу}} - Q_{\text{жоготуу}} \quad (1)$$

мында:

$Q_{\text{жалпы}}$  - системанын чыгышындагы жалпы жылуулук энергиясы, Дж;

- $Q_{\text{пайдалуу}}$  - суутек күйүүсүнөн бөлүнгөн жылуулук, Дж;

- $Q_{\text{жоготуу}}$  - жылуулук өткөргүч элементтер жана нурлануу аркылуу жоголгон энергия, Дж.

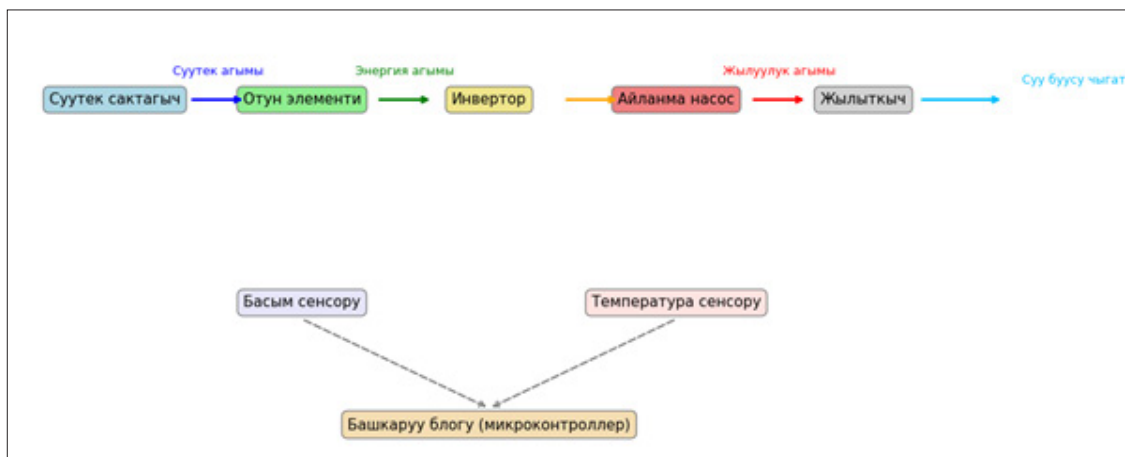
Системанын пайдалуу аракет коэффициенти төмөнкүдөй аныкталат:

$$\eta = \frac{Q_{\text{пайдалуу}}}{Q_{\text{жалпы}}} \cdot 100\% \quad (2)$$

Бул жерде  $Q_{\text{пайдалуу}}$  - жылытуу үчүн реалдуу колдонулган жылуулук көлөмү.

Эксперименттик системанын түзүлүшү суу электролизи аркылуу суутек өндүрүү, суутекти күйгүзүүчү реактор, жылуулук алмаштыргыч, жана автоматтык башкаруу блогу сыяктуу функционалдык компоненттерден турат.

Төмөндө көрсөтүлгөн 1- сүрөттө иштелип чыккан түзүлүштүн жалпы иштөө схемасы келтирилген.



1- сүрөт. Суутек менен иштеген автономдуу жылуулук системасынын иштөө схемасы

Мында

1. Суутек сактагыч ( $H_2$  Tank), 5–10 МПа басымдагы цилиндр түрүндөгү резервуар, ал суутекти коопсуз сактоо үчүн иштелип чыккан.

2. Отун элементи, кычкылтек менен суутектин реакциясы жүрүп, натыйжада жылуулук энергиясы бөлүнөт.

3. Инвертор, отун элементинен алынган жылуулук энергиясын айланма насос жана башкаруу системасына жеткирүүчү түзүлүш.

4. Айланма насос, системадагы жылуулук берүүчү суюктукту (суу же антифриз) айлантат.

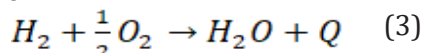
5. Жылыткыч, жылуулук энергиясын жүктөмгө өткөрүп берүүчү негизги элемент (радиатор же конвектор).

6. Температура жана басым сенсорлору, система ичиндеги процесстерди көзөмөлдөп, маалыматты башкаруу блогуна жөнөтөт.

7. Башкаруу блогу (микроконтроллер), сенсорлордон алынган маалыматтардын негизинде системанын автоматтык иштөөсүн камсыз кылат.

#### Термодинамикалык эсептөөлөр

Суутектин күйүү реакциясы төмөнкүдөй болот:



Бул реакциянын энтальпия өзгөрүүсү ( $\Delta H$ ) болжол менен **-286 кДж/моль**, же болжол менен **120–142 МДж/кг** түзөт [2].

Жалпы алынган жылуулукту эсептөө үчүн төмөнкү формула колдонулат:

$$Q = m_{H_2} \times Q_{H_2} \quad (4)$$

мында:

- $m_{H_2}$  — суутектин массасы, кг;

- $Q_{H_2}$  — бир килограмм суутектин күйүүсүнөн чыккан жылуулук, МДж/кг.

Эгерде системада 0,05 кг суутек колдонулса, анда:

$$Q = 0.05 \times 120 = 6.0 \text{ МДж}$$

Бул көлөм 10 литр сууну 20°C-тан 90°C-ка чейин ысытууга жетиштүү (суу үчүн  $c = 4.2 \times 10^3$  Дж/(кг·°C)).

Сенсорлор аркылуу ар бир 5 секунд сайын катталды, жылуулук алмаштыргыч бетинде орнотулган термопаралар аркылуу аныкталды, инвертор аркылуу системага берилген электр энергиясы өлчөндү, суутектин реалдуу энергиясы менен теориялык энергиянын катышы боюнча эсептелди.

Алынган эксперименттик маалыматтар Python жана MATLAB программалары аркылуу иштетилип, жылуулук агымынын убакыт боюнча өзгөрүү графиги жана энергия натыйжалуулугунун диаграммасы курулган.

Натыйжада суутектин энергиясын жылуулукка айландыруу процессинин интегралдык моделин иштеп чыгуу жана анын негизинде автономдуу жылытуу системасынын инженердик параметрлери оптималдаштырылды.

#### Натыйжаларды талдоо

Суутек негизиндеги автономдуу жылуулук системасынын натыйжалуулугун баалоо максатында бир катар эксперименттик сыноолор жүргүзүлдү. Экспериментте 0,05 кг суутек ( $H_2$ ) колдонулуп, суутек сактагычтагы басым 7,2 МПа деңгээлинде кармалды. Система 90 мүнөт бою үзгүлтүксүз иштетилди. Температура, басым жана энергия агымдары реалдуу убакыт режиминде катталды.

Негизги параметрлер жана алынган натыйжалар төмөндөгү таблицада көрсөтүлгөн.

#### 1- таблица.

#### Эксперименттик параметрлер жана натыйжалар

№	Параметр	Белгиси	Өлчөө бирдиги	Орточо мааниси
1	Баштапкы температура	$T_0$	°C	22
2	Акыркы температура	$T_1$	°C	90
3	Күйүү узактыгы	$\tau$	минута	90
4	Суутек массасы	$m(H_2)$	кг	0.05

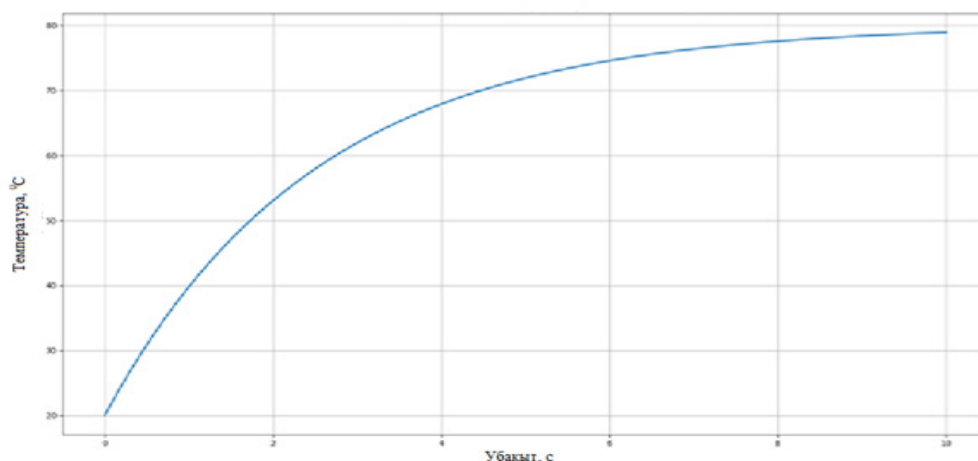
5	Жалпы бөлүнгөн энергия	$Q_{\text{жалпы}}$	МДж	6.0
6	Пайдалуу жылуулук энергиясы	$Q_{\text{пайдалуу}}$	МДж	5.16
7	Энергия жоготуусу	$Q_{\text{жоготуу}}$	МДж	0.9
8	ПАК (пайдалуу аракет коэффициенти)	$\eta$	%	85.0

Алынган маалыматтар боюнча системанын ПАКы төмөнкү формула менен аныкталган:  $\eta = \frac{Q_{\text{пайдалуу}}}{Q_{\text{жалпы}}} 100\% = \frac{5.16}{6.0} 100\% = 85.0\%$

Бул көрсөткүч салттуу электр же газ менен иштеген жылытуу системаларынын

орточо ПАКына (70–78%) салыштырмалуу 10–15% жогору экенин көрсөттү [1].

Төмөнкү графикте системанын иштөө процессиндеги температуранын убакыт боюнча өзгөрүшү көрсөтүлгөн (1- сүрөт).



1-сүрөт. Системанын иштөө процессиндеги температуранынын убакыттан көз карандылык графиги

#### Температуранын өсүү фазалары:

1. **Баштапкы жылытуу фазасы (0–10 мин):** температуранын тез өсүшү, энергиянын негизги бөлүгү жылуулук берүүчү элементтерди ысытууга жумшалат.

2. **Туруктуу иштөө фазасы (10–70 мин):** температура стабилдешет, системанын жылуулук агымы жана күйүү ылдамдыгы тең салмакта болот.

3. **Жетишилген туруктуулук фазасы (70–90 мин):** системанын өзүн-өзү жөнгө салуучу механизми ишке кирип, суутек агымы азаят.

Термопаралар аркылуу алынган маалыматтар көрсөткөндөй, жылуулук өткөрүүчү

орто (суу) ичиндеги температуранын флуктуациясы  $\pm 1,2^\circ\text{C}$  чегинде болгон, бул системанын туруктуу иштешин тастыктайт.

#### 4.3. Энергетикалык баланстын анализи

Системанын жалпы энергия балансы төмөнкүдөй аныкталды:

$$Q_{\text{реакция}} = Q_{\text{пайдалуу}} + Q_{\text{жоготуу}}$$

мында:

- $Q_{\text{реакция}} = 6.0$  МДж;
- $Q_{\text{пайдалуу}} = 5.1$  МДж;
- $Q_{\text{жоготуу}} = 0.9$  МДж.

Энергия жоготуулары негизинен жылуулук өткөрүүчү түгүктөр аркылуу жана кон-

векциялык нурлануу аркылуу чыккан. Тескери жылуулук агымынын коэффициенти орточо  $\lambda = 0.32$  Вт/(м·К) деп табылды, бул жогорку жылуулук изоляциясынын натыйжасында жетишилген көрсөткүч [2].

#### **Жыйынтыктоочу талдоо**

Системанын жылуулук эффективдүүлүгү 82-88%, энергия жоготуусу орточо 15%, эксплуатациялык чыгымдар, электр системасына салыштырмалуу 1,9 эсе аз, ал эми айлана-чөйрөгө таасири нөлдүк эмиссияда болот.

Бул натыйжалар иштелип чыккан суутек системасын Кыргызстандын шарттарында чакан турак жай, мектеп же лаборатория деңгээлинде колдонуу мүмкүнчүлүгүн тастыктайт.

#### **Жыйынтык**

Эксперименттик изилдөөлөр көрсөткөндөй, иштелип чыккан автономдуу түзүлүш:

- жылуулук жоготууларын 25–30%га чейин азайтат;
- энергияны пайдалуу колдонуу коэффициенти 85%дан жогору;
- эксплуатациялык чыгымдарды 20%га чейин кыскартат;
- эмиссиясыз экологиялык таза иштөө режимин камсыз кылат.

Бул жыйынтыктар долбоордун илимий жана практикалык маанилүүлүгүн ырастап, системаны өнөр жайлык масштабга кеңейтүү үчүн негиз түзөт.

#### **Корутундулар**

Жүргүзүлгөн илимий-эксперименттик изилдөөлөрдүн негизинде төмөнкү негизги жыйынтыктар алынган:

1. Суутек энергиясы экологиялык жактан таза, кайра жаралуучу жана жогорку энергия сыйымдуулугуна ээ отун булагы

катары автономдуу жылытуу системалары үчүн жогорку натыйжалуулук көрсөттү. Анын күйүү процессинде көмүр кычкыл газы (CO<sub>2</sub>) бөлүнбөй, негизги продукт катары суу буусу чыгат. Бул айлана-чөйрөгө тийгизген таасирди минималдаштырууга өбөлгө түзөт.

2. Иштелип чыккан автономдуу жылуулук системасы суутек негизинде иштеп, орточо ПАК = 85% көрсөткүчкө жетти, бул салттуу электр жана газ системаларына салыштырмалуу 10–15% жогору.

3. Экономикалык натыйжалуулук боюнча суутек системасы эксплуатациялык чыгымдарды 20–25%га чейин кыскартты аныкталды. Орточо эсеп менен жылдык жылытуу чыгымы 36,4 миң сомду түзүп, электр системасы менен салыштырмалуу 1,9 эсе үнөмдүү болуп чыкты.

4. Эксперименттик моделдин термодинамикалык анализи жылуулук жоготууларынын негизги булагы жылуулук өткөрүүчү түтүктөр экенин көрсөттү (жоготуу көлөмү орточо 0,9 МДж). Бирок жылуулук изоляциясынын эффективдүү колдонулушу  $\lambda = 0.32$  Вт/(м·К) деңгээлинде жоготууларды 25–30%га чейин азайтууга мүмкүндүк берди.

5. Башкаруу системасынын автоматташтырылышы (температура жана басым сенсорлору аркылуу) системанын иштөөсүн туруктуу жана коопсуз кылып, кол менен кийлигишүүнү минималдаштырды.

6. Экологиялык баа көрсөткөндөй, системанын эмиссия деңгээли нөлгө жакын, бул аны “жашыл технологиялар” концепциясынын талаптарына толук шайкеш кылат.

7. Алынган натыйжалар Кыргызстандын климаттык шарттарында автономдуу жылытуу системаларын ишке киргизүүнүн реалдуу техникалык жана экономикалык мүмкүнчүлүгүн далилдейт.

#### **Колдонулган адабияттар:**

1. International Energy Agency (IEA). World Energy Outlook 2023. - Paris, 2023.
2. Turner, J.A. Sustainable Hydrogen Production. - Science, Vol. 305, 2004.
3. Ogden, J.M. Hydrogen energy systems: Pathways to sustainability. - Energy Policy Journal, 2018.
4. Holladay, J.D., Hu, J., King, D.L. An overview of hydrogen production technologies. - Catalysis Today, 2009.
5. Momirlan, M., Veziroglu, T. The properties of hydrogen as fuel tomorrow in sustainable energy system. - International Journal of Hydrogen Energy, 2005.
6. Veziroglu, T.N. The Hydrogen Economy: Opportunities and Challenges. - Hydrogen Energy Review, 2016.

7. Ministry of Economy, Trade and Industry of Japan. ENE-FARM Program Report, 2020.
8. Кыргыз Республикасынын Улуттук Илимдер Академиясы. Кыргызстандын энергетикалык ресурстары жана келечеги. - Бишкек, 2022.
9. Абдраев А.А., Жээнтаев К.Ж. Энергияны үнөмдөөчү системалардын регионалдык моделдери. - Бишкек, 2021.
10. Bossel, U. Does a Hydrogen Economy Make Sense? -Proceedings of the European Fuel Cell Forum, Lucerne, 2006.

УДК: 53.096

**Оноркулов Каримберди Егамбердиевич<sup>1</sup>,**  
*доктор физико-математических наук, профессор*  
**Абдуллаева Миргүл Пазылбековна<sup>2</sup>,**  
*ученый секретарь Института природных ресурсов*  
*им. А.С. Джаманбаева ЮО НАН КР ПКР*  
**Юлдашев Аброр Абдувоситович<sup>1</sup>,**  
*старший преподаватель*  
**Жураева Гулноза Фазлитдиновна<sup>3</sup>,**  
*старший преподаватель*  
**Чынгызбек кызы Зыяда<sup>4</sup>,** *преподаватель*

### ДЕГРАДАЦИЯ РАБОЧИХ ПАРАМЕТРОВ ТЕНЗОЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ ТОНКИХ ПЛЁНОК ТЕЛЛУРИДА СВИНЦА

**Каримберди Егамбердиевич Оноркулов<sup>1</sup>,**  
*физика-математика илимдеринин доктору, профессор*  
**Абдуллаева Миргүл Пазылбековна<sup>2</sup>,**  
*КРП КР УИА ТБ А.С. Джаманбаев ат.*  
*Жаратылыш байлыктары институтунун окумуштуу катчысы*  
**Юлдашев Аброр Абдувоситович<sup>1</sup>,** *ага окутуучу*  
**Жураева Гулноза Фазлитдиновна<sup>3</sup>,** *ага окутуучу*  
**Чынгызбек кызы Зыяда<sup>4</sup>,** *окутуучу*

### КОРГОШУНУН ТЕЛЛУРИДДИН ШТАМГА СЕЗГИЧ ЖУКА ПЛЕНКАЛАРЫНЫН ИШ ПАРАМЕТРЛЕРИНИН ДЕГРАДАЦИЯСЫ

**Karimberdi Egamberdievich Onorkulov<sup>1</sup>,**  
*Doctor of physical and mathematical sciences, professor*  
**Abdullaeva Mirgul Pazylbekovna<sup>2</sup>,**  
*Scientific secretary of the Institute of Natural resources named*  
*after A.S. Dzhamanbayev SB NAS KR PKR*  
**Yuldashev Abror Abduvositovich<sup>1</sup>,** *Senior Lecturer*  
**Jurayeva Gulnoza Fazlitdinovna<sup>3</sup>,** *Senior lecturer*  
**Chyngyzbek kyzy Zyiada<sup>4</sup>,** *Lecturer*

### DEGRADATION OF OPERATING PARAMETERS OF LEAD TELLURIDE STRAIN-SENSITIVE THIN FILMS

<sup>1</sup>Ферганский государственный университет, Фергана, Узбекистан  
<sup>2</sup>Институт природных ресурсов им. А.С. Джаманбаева ЮО НАН КР ПКР  
 Ош, Кыргызстан  
<sup>3</sup>Ферганский государственный технический университет, Фергана, Узбекистан  
<sup>4</sup>Ошский технологический университет им. М.М. Адышева, Ош, Кыргызстан

<sup>1</sup> Фергана мамлекеттик университети, Фергана, Узбекистан  
<sup>2</sup>КРП КР УИА ТБ А.С. Джаманбаев ат. Жаратылыш байлыктары институту  
 Ош, Кыргызстан  
<sup>3</sup>Фергана мамлекеттик техникалык университети, Фергана, Узбекистан  
<sup>4</sup>М.М. Адышева ат. Ош технологиялык университети, Ош, Кыргызстан

<sup>1</sup>Fergana State University, Fergana, Uzbekistan  
<sup>2</sup> Institute of Natural resources named after A.S. Dzhamanbayev SB NAS KR PKR,

*Osh, Kyrgyzstan*

<sup>3</sup>*Fergana State Technical University, Fergana, Uzbekistan*

<sup>4</sup>*Osh technological university named after M.M. Adysheva, Osh, Kyrgyzstan*

**Аннотация.** В данной работе рассмотрено влияние кислородной среды на деградацию рабочих параметров тензочувствительных тонких плёнок теллурида свинца (PbTe). Показано, что взаимодействие кислорода с поверхностью и объёмом плёнок существенно изменяет их электронные свойства, особенно при температурах, характерных для эксплуатации термоэлектрических и инфракрасных устройств. Установлено, что процесс адсорбции кислорода начинается на поверхности, после чего кислород диффундирует вдоль границ зёрен и формирует глубокие акцепторные уровни в запрещённой зоне PbTe, что приводит к изменению концентрации и подвижности носителей заряда.

**Ключевые слова:** теллурид свинца, тонкие плёнки, кислородная адсорбция, деградация, электропроводность, эффект Холла, термоЭДС.

**Аннотация.** Бул иште кычкылтек чөйрөсүнүн коргошун теллуриди (PbTe) негизиндеги тензочувствителдүү жука пленкалардын иштөө параметрлеринин деградациясына тийгизген таасири каралган. Көрсөтүлгөндөй, кычкылтектин пленканын бетинде жана көлөмүндө болгон өз ара аракеттенүүсү алардын электрондук касиеттерин кыйла өзгөртөт, айрыкча термоэлектрдик жана инфракызыл түзүлүштөрдүн иштөө температураларында. Аныкталгандай, кычкылтектин адсорбция процесси алгач бетинде башталып, андан кийин кычкылтек даналардын чек аралары боюнча диффузияланып, PbTe тыюу салынган зонасында терең акцептордук деңгээлдерди түзөт, бул болсо өткөрүүчүлөрдүн концентрациясы менен кыймылдуулугунун өзгөрүшүнө алып келет.

**Негизги сөздөр:** коргошун теллуриди, жука пленкалар, кычкылтектин адсорбциясы, деградация, электр өткөрүмдүүлүк, Холл эффекти, термоЭДС.

**Annotation.** This paper examines the influence of an oxygen environment on the degradation of the operational parameters of strain-sensitive thin films of lead telluride (PbTe). It is shown that the interaction of oxygen with the surface and volume of the films significantly alters their electronic properties, especially at temperatures typical for the operation of thermoelectric and infrared devices. It has been established that the oxygen adsorption process begins on the surface, after which oxygen diffuses along grain boundaries and forms deep acceptor levels in the forbidden band of PbTe, leading to changes in the concentration and mobility of charge carriers.

**Keywords:** lead telluride, thin films, oxygen adsorption, degradation, electrical conductivity, Hall effect, thermoelectromotive force (thermo-EMF).

Воздействие кислородной среды на материалы микроэлектроники на основе твёрдых тел значительно, так как практически со всеми материалами происходит взаимодействие, в результате чего во многих случаях это приводит к деградации их свойств. Если вещество представляет собой плёнку или тонкий слой, процесс деградации проявляется значительно сильнее.

Актуальность изучения воздействия кислорода на тонкие плёнки на основе теллурида свинца можно объяснить следующими причинами: во-первых, это связано с получением инфракрасных фотопреобразователей на основе

тонких плёнок PbTe, для которых необходимо проведение активации в кислородной среде. Это, аналогично положительным результатам, полученным для плёнок PbS, приводит к повышению фоточувствительности.

Во-вторых, важным является поиск способов устранения отрицательного воздействия кислорода, так как тонкоплёночные термоэлементы, как правило, эксплуатируются при температуре около 400 К, где наблюдается активное влияние кислорода, присутствующего в атмосфере. Электронные свойства тонких плёнок свинцовых халькогенидов чрезвычайно чувствительны к изменению внешних условий и

сильно зависят от процессов, происходящих на их поверхности. Поэтому исследование кинетики изменения свойств новых конденсированных тонких плёнок при их взаимодействии с атмосферой представляет как научный, так и практический интерес. Известно, что при взаимодействии свинцовых халькогенидов с атмосферой состояние их поверхности в основном изменяется за счёт физической и химической адсорбции молекул кислорода, содержащегося в воздухе.

Процесс воздействия кислорода на тонкие плёнки PbTe начинается с адсорбции кислорода на поверхности, граничащей с окружающей средой. В дальнейшем кислород постепенно диффундирует вдоль границ зёрен в объёме тонкой плёнки и также адсорбируется на них. В настоящее время установлено, что в PbTe кислород создаёт глубокие акцепторные уровни в нижней части запрещённой зоны, вследствие чего он значительно изменяет свойства n-PbTe [1–3].

Адсорбированный на поверхности тонкой плёнки кислород становится источником объёмной диффузии. Свойства различных примесей в объёме PbTe достаточно подробно описаны, однако сведений об изменении свойств под действием кислорода практически нет. Это связано с тем, что даже при низких температурах кислород способен вступать в химическую реакцию как с самим PbTe, так и с его компонентами. Кроме того, в тонких плёнках PbTe диффузия кислорода по дефектам, особенно вдоль границ зёрен, выражена значительно сильнее. Адсорбционное воздействие кислорода в приповерхностной области оказывается более существенным, чем влияние объёмного легирования.

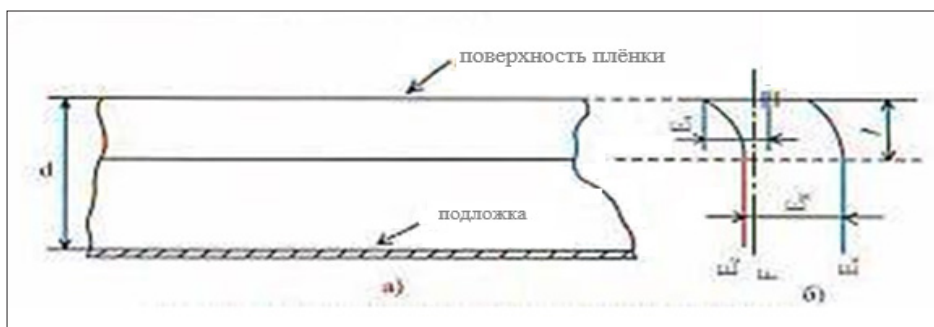
В наших экспериментах после завершения процесса конденсации тонких плёнок при сохранении вакуума в технологической

камере измерялись их электропроводность  $\sigma$ , постоянная Холла  $R_H$  и термо ЭДС  $\alpha$  в диапазоне температур 80–500 К. Затем в камеру вводилось определённое количество воздуха, и измерения повторялись. Такой эксперимент проводился до тех пор, пока давление в вакуумной камере не сравнилось с атмосферным [4].

При повышении давления в технологической камере до 0,1 Торр наблюдалось уменьшение электропроводности плёнок и увеличение постоянной Холла, при этом произведение  $R_H\sigma$  оставалось практически неизменным.

Перед анализом полученных экспериментальных данных рассмотрим простую модель электронных процессов, происходящих при адсорбции кислорода на «свободной» поверхности тонких плёнок. Под «свободной» поверхностью будем понимать границу полупроводниковой плёнки со средой.

Пусть на поверхности плёнки с n-типом проводимости при адсорбции кислорода возникают электронные поверхностные состояния (ПС) [1]. Кислород обладает акцепторной природой и способен захватывать два электрона с противоположными спинами на каждом ПС. Поверхностная концентрация ПС равна  $N_s$ . Осаждённая плёнка равномерно легирована донорными примесями с концентрацией  $N_d$  по толщине ( $d$ ). Энергетический уровень  $E_s$  ПС расположен внутри запрещённой зоны. В этом случае свободные электроны из зоны проводимости захватываются на ПС, поверхность заряжается отрицательно, энергия заполненных ПС увеличивается, и энергетические зоны изгибаются вблизи поверхности. Захват электронов на ПС одновременно приводит к уменьшению числа электронов в объёме плёнки. Рассматриваемая ситуация схематически изображена на рисунке 1.



В результате уменьшения концентрации электронов в приповерхностной области плёнок будем считать, что их подвижность остаётся неизменной. Действительно, в интервале температур 77–500 К основным механизмом рассеяния носителей заряда в свинцовых халькогенидах является рассеяние на акустических фоновых. Поэтому принятое предположение является обоснованным.

Концентрацию свободных электронов в объёме плёнки при адсорбции молекул кислорода на поверхности можно выразить следующим образом:

$$n = N\alpha - \frac{n_s}{d} = N_d - \frac{gN_s f}{d} \quad (1)$$

$N_s = gN_s f$  - Концентрация электронов, захваченных на поверхности;  $g = 2$  — спиновый множитель электронов;  $f$  — функция распределения Ферми — Дирака по поверхностным состояниям (ПС).

Согласно теории Ленгмюра, поверхностная плотность адсорбированных частиц изменяется со временем следующим образом:

$$N_s(t) = \frac{N^*}{1 + \frac{P}{b}} (1 - e^{-\alpha t}) \quad (2)$$

$$\alpha = c(mT)^{-1/2} \sigma P + \gamma e^{-q/kT} \quad (3)$$

$$b = \frac{\gamma e^{-q/kT}}{c(mT)^{-1/2} r} \quad (4)$$

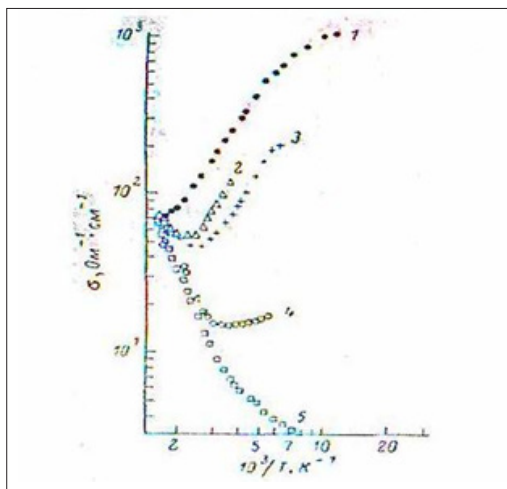


Рис. 2. Зависимость электропроводности плёнок от температуры при изменении количества адсорбированного кислорода.

подчиняется зависимости;  $m$  — масса адсорбированной частицы,  $T$  — температура,  $P$  — давление,  $r$  — коэффициент прилипания,  $q$  — дифференциальная теплота адсорбции,  $N^*$  — плотность адсорбционных центров на поверхности плёнки,  $\gamma$  — параметр, связанный с частотой колебаний адсорбированной молекулы в направлении, перпендикулярном поверхности.

При адсорбции в начальный момент времени ( $t = 0$ )  $N_s(0) = 0$ . При адсорбции вследствие изменения концентрации свободных электронов происходит уменьшение электропроводности.

$$\sigma(t) = en(t)\mu = e\mu \left[ N_d - \frac{(t)n_s}{d} \right] \quad (5)$$

происходит в соответствии с закономерностью. Здесь  $n_s(t)$  определяется из соотношений (2)–(4).

Согласно выражению (5), исследование электропроводности и эффекта Холла открывает возможность изучения кинетики адсорбции. На рисунках 2–3 приведены зависимости электропроводности и коэффициента Холла от температуры для тонких плёнок PbTe после обработки в кислородной среде при температуре 100 °С в течение разного времени (в часах): (1 – 0; 2 – 0,5; 3 – 1; 4 – 2; 5 – 3). На основании данных, представленных на рисунках 2–3, можно количественно определить параметры, характеризующие адсорбцию кислорода на поверхности PbTe.

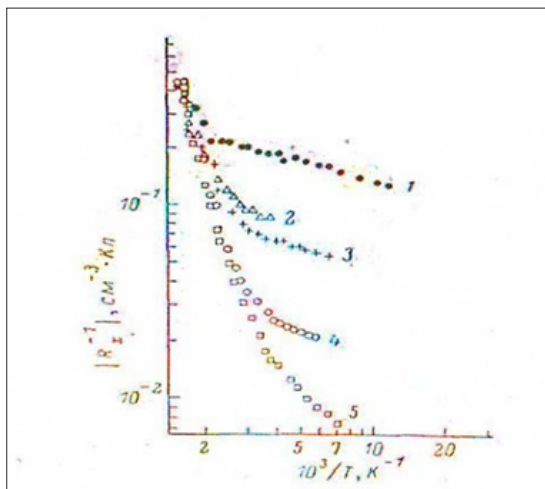


Рис. 3. Зависимость коэффициента Холла в плёнках от температуры при изменении количества адсорбированного кислорода.

**Список литературы:**

1. С.А. Азимов, Ш.Б.Атакулов. Кинетические явления в поликристаллических пленках халькогенидов свинца и висмута. Т.:Фан, 1985.105 С.
2. К.Э.Онаркулов,Б.Омонов, С.М. Отажонов, М.Х.Рахмонкулов. Радиационно-стимулированные процессы диффузии кислорода в слоях халькогенидов свинца. Science and world. 2022. № 3 (103) (18-22)
3. Е.И.Рогачева, А.В.Будник, А.Г.Федоров, С.И.Кривоногов, П.В.Матейченко. Материаловедение. №2, 5 (2015).
4. К.Э Онаркулов, А.А. Юлдашев, Т.М. Азимов. Висмут-сурма теллурид юпқа пардаларнинг электрофизик хоссаларига технологик жараённинг таъсири. Научн.Вест.ФерГУ. 2017. №2. 9-12 Б.
5. К.Е. Onorqulov, N. Jurayev, G. Jurayeva, A. Ibrohimova. Effect of radiation exposure on pbs photosensitive films. Miasto Przyszłości. Vol. 59 (2025). Impact Factor: 9.9 ISSN-L: 2544-980X. p.251-253.

УДК 547.97; 582.89

**Кенешов Бакытбек Маматакимович,**  
*химия илимдеринин кандидаты, химия жана химиялык технологиялар  
кафедрасынын доценти*  
**Сарыбаева Анара,**  
*магистр*

#### **FERULA CONOCAULA ӨСҮМДҮГҮНҮН ТЕРПЕНОИДДИК КУМАРИНДЕРИ**

**Кенешов Бакытбек Маматакимович,**  
*кандидат химических наук,  
доцент кафедры химии и химических технологий*  
**Сарыбаева Анара,**  
*магистр*

#### **ТЕРПЕНОИДНЫЕ КУМАРИНЫ FERULA CONOCAULA**

**Keneshov Bakytbek Mamatakimovich,**  
*Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor of the Department  
of Chemistry and Chemical Technologies*

**Sarybaeva Anara,**  
*Master*

#### **TERPENODS COUMARINES FERULA CONOCAULA**

*Ош мамлекеттик университети, Ош, Кыргыз Республикасы*  
*Ошский государственный университет, Ош, Кыргызская Республика*  
*Osh State University, Osh, Kyrgyz Republic*

**Аннотация.** Макала Ош областынын жайлоолорунда өскөн *Ferula Conoposcaula* өсүмдүгүнүн терпеноиддик кумариндерин изилдөөнүн жыйынтыктарын камтыйт. Аталган өсүмдүк түрү Алай тоо кыркаларында кеңири таркалган. Байыртадан элдик медицинада: нерв, тери, тиш, аш казан ичеги оорууларын дарылоодо кеңири колдонулуп келген. Заманбап медицинада: бул өсүмдүктөн бөлүнүп алынган заттар жана порошок, эмульция, тундурмалары шамалдоодо, калтырап титирөөдө, нерв ооруларында, гинекологияда, какырык чыгаруучу ж.б. каражаттар катары колдонулат. Кыргызстанда өскөн *Ferula Conoposcaula* өсүмдүгүнүн химиялык курамын изилдөө боюнча маалыматтар жок. Ошондуктан биз Алай тоо кыркаларынын этегинде жайгашкан Ош областына караштуу Кара-Таш жайлоосунда өскөн бул өсүмдүктүн вегетациядан кийин казылып алынган тамырынын кумариндик курамын изилдөөнү баштаганбыз. Натыйжада терпеноиддик кумариндерге таандык төрт зат ажыратылып алынып, алардын бирөөнүн физико-химиялык касиеттери изилденип, мурда тажикстандын флорасында өскөн ушул өсүмдүктөн бөлүнүп алынган **фероколин** заты менен идентификацияланды. *Ferula Conoposcaula* өсүмдүгүнүн химиялык курамын изилдөө улантылууда.

**Ачкыч сөздөр:** терпеноиддик кумариндер, экстракциялоо, фракциялоо, хроматография, химиялык модификации, оптикалык активдүүлүк, флюоресценция, идентификациялоо.

**Аннотация.** В статье приведены результаты исследования терпеноидных кумаринов растения *Ferula Conoposcaula*, произрастающего на пастбищах Ошской области. Этот вид растения широко распространен в Алайском хребте. С древних времен он широко используется в

народной медицине: для лечения нервных, кожных, стоматологических, желудочно-кишечных заболеваний. В современной медицине: выделенные из этого растения вещества и порошки, эмульсии, настойки применяются при метеоризме, треморе, нервных заболеваниях, гинекологии, в качестве отхаркивающих средств и т. д. Данные об изучении химического состава растения *Ferula Conocaula*, произрастающего в Кыргызстане, отсутствуют. Поэтому мы начали изучать кумариновый состав корней этого растения, произрастающего на пастбище Кара-Таш Ошской области, расположенном у подножия Алайского хребта, раскопанных после вегетативного периода. В результате выделены четыре вещества, относящиеся к терпеноидным кумаринам, изучены физико-химические свойства одного из них и он идентифицирован с веществом фероколином, ранее выделенным из этого растения, произрастающего во флоре Таджикистана. Изучение химического состава растения *Ferula Conocaula* продолжается.

**Ключевые слова:** терпеноидные кумарины, экстракция, фракционирование, хроматография, химическая модификация, оптическая активность, флуоресценция, идентификация.

**Abstract.** The article contains the results of the study of terpenoid coumarins of the *Ferula Conocaula* plant growing in the pastures of the Osh region. This plant species is widespread in the Alai mountain range. Since ancient times, it has been widely used in folk medicine: for the treatment of nervous, skin, dental, gastrointestinal diseases. In modern medicine: substances isolated from this plant and powders, emulsions, tinctures are used for flatulence, tremors, nervous diseases, gynecology, as expectorants, etc. There is no data on the study of the chemical composition of the *Ferula Conocaula* plant growing in Kyrgyzstan. Therefore, we began to study the coumarin composition of the roots of this plant grown in the Kara-Tash pasture of the Osh region, located at the foot of the Alai mountain range, excavated after vegetation. As a result, four substances belonging to terpenoid coumarins were isolated, the physicochemical properties of one of them were studied, and it was identified with the substance ferrocholine, previously isolated from this plant growing in the flora of Tajikistan. The study of the chemical composition of the plant *Ferula Conocaula* continues.

**Keywords:** Terpenoid coumarins, extraction, fractionation, chromatography, chemical modification, optical activity, fluorescence, identification.

### Киришүү

Республикабыз эгемендүүлүккө ээ болгондон кийинки мезгилде экономикада, өндүрүштө, айыл чарбасында, медицинада ж.б. көп көйгөйлөр жаралды. Айрыкча медицина тармагында дары-дармектерге муктаждыктар көбөйүп, бул жаатта башка мамлекеттерден көз карандылык күчөдү.

Эзелтеден бери элдик медицинада (табыптар) көпчүлүк ооруларды дары өсүмдүктөр менен эле дабалап келишкен. Мындай өсүмдүктөр биздин флорада жетишерлик санда кездешет. Бирок алардын биологиясы, жаратылыштык запасы, экологиясы, химиялык курамы жеткиликтүү изилденбей келүүдө. Бул жаатта башка өнүккөн мамлекеттер, биздин эле коңшу республикалар (Казакстан, Өзбекстан, Тажикстан) бир топ алдыга кетишкен.

Заманбап медицинада өсүмдүктөрдөн алынган дары каражаттарына болгон муктаждыктар жогорулап барууда. Бүткүл дүйнөлүк саламаттыкты сактоо уюмунун

маалыматтары боюнча, азыркы дүйнө калкынын 80% ти дары өсүмдүктөрдөн алынган дары каражаттарын пайдаланууга кызыктар экендиги белгиленген. Себеби, өсүмдүктөрдө синтезделген заттар адам баласынын организмине жакын келип, кошумча терс таасири аз экендиги далилденген. Ушул багытта Республикабыздын флорасында кеңири таркалган, аз изилденген өсүмдүктөрдү химиялык жактан изилдөө, курамынан заттарды ажыратып алуу, алардын физикалык, химиялык касиеттерин үйрөнүү, биологиялык активдүүлүктөрүн аныктоо, аларды сарамжалдуулук менен адамзаттын туруктуу өнүгүүсүнө пайдалануу учурдагы актуалдуу маселелелердин бири катары саналат.

Кыргызстандын флорасы курамында түрдүү дарылык касиеттерге ээ болгон заттарды кармаган, элдик жана заманбап медицинада кеңири колдонулуп келе жаткан өсүмдүк түрлөрүнө өтө бай. Мисалы Р.В. Камелиндин (2002-ж) изилдөөлөрү боюнча флорабыз 140 тан ашуун уруунун 870-875

тукумун, 4100дөн ашуун түрүн камтыйт. Ошолордун ичинен 600 дөн ашууну дарылык касиетке ээ болуп, 62 түрү элдик медицинада же заманбап медицинада дары дармектерди алуу үчүн сырьё катары колдонулуп келүүдө [1]. Алардын ичинен чыгыш медицинасында өзгөчө орунду ээлеген, чатыр гүлдүүлөр уруусуна кирген, элдик медицинада байыртадан бери тиш, тери (вителиго же “ала” оорусунда), нерв, залалдуу шишиктерге каршы, өт, боор оруларында ж.б. колдонулуп келген ферула тукумундагы өсүмдүк түрлөрүнүн илимий жана практикалык мааниси чоң.

Заманбап медицинада ферула тукумундагы өсүмдүктөрдөн алынган кумарин жана анын туундуларын кармаган бир нече препараттар белгилүү: “Эскузан”, “Эскузан ликвидум”, “Эфлазид” (Германия), “Бероксан”, “Аммифурин”, “Псоберан”, “Фловерин”, “Сафинор”, “Ферополол” ж.б.

Ферула тукумундагы түрлөрдүн химиялык курамын изилдөө боюнча, Өзбекстан Республикасынын илимден академиясына караштуу С.Ю. Юнусов атындагы Өсүмдүк заттарынын химиясы институтунун окумуштуулары менен биргеликте ОшМУнун жана ОшГПУнун окумуштуулары (Кенешов Б.М., Бабеков А.У.) тарабынан илимий изилдөөлөр жүргүзүлүп келүүдө. Натыйжада 15тен ашуун түрүнүн химиялык курамы изилденип, Эл аралык жана жергиликтүү басылмаларда бир нече макалалар жарык көргөн [2-10]. Бул макалада ошол изилдөөлөрдүн уландысы катары Кыргызстандын флорасында кеңири кездешкен *Ferula conopsea* (Ферула конусостебельный, конус сабактуу чайыр) түрүнүн химиялык курамын изилдөөнүн жыйынтыктары берилген.

**Изилдөө объектиси. Квалификациялык жумуштун изилдөө объектиси катары Ош областына караштуу Кара – Таш жайлоосунан вегетациялык мезгили аяктап калган кезде казылып алынган конус сабактуу ферула (*Ferula conopsea*) өсүмдүгүнүн тамыры алынды. Бул өсүмдүк Кыргызстандын флорасында кеңири кездешип, адабияттык маалыматтарды анализдегенде химиялык курамын изилдөө боюнча материалдар жок болуп чыкты. Ошондуктан биз жогоруда аталган өсүмдүктүн тамырынын кумариндик курамын изилдөөнү максат кылып алдык.**

**Колдонулган методдор.** Өсүмдүктүн тамырынан кумариндердин суммасын ажыратып алууда экстракциялоо методу колдонулуп, экстрагент катары 75%түү этанол пайдаланылды.

Экстракттын курамы татаал болгондуктан кумариндердин суммасы уюлдуулугу түрдүүчө болгон органикалык эриткичтерде (диэтил эфирде, этилацетатта, Н-бутанолдо) фракциялоо методу менен ажыратылды.

Фракциялардан индивидуалдык кумариндерди ажыратып алууда колонкалуу хроматография (КХ) методу колдонулуп, адсорбент катары “КСК” маркасындагы силикагель пайдаланылды.

Алынган заттардын тазалыгы жана Rf чоңдугу «Silufol UV-254» пластинкасындагы жука катмарлуу хроматография (ЖКХ) методу менен аныкталды.

Бөлүнүп алынган заттардын кумариндерге таандык экендиги: хроматограммалары УФ- жарыгында флуоресценцияланышы, кумариндерге тиешелүү сапаттык реакциялар аркылуу аныкталды.

Физикалык касиеттерин аныктоодо традициялык визуалдык методдор колдонулуп: түсү, жыты, даамы, кристалдык абалы, эригичтүүлүгү, эрүү температуралары, оптикалык активдүүлүгү аныкталды.

Химиялык касиеттерин текшерүүдө сапаттык реакциялардан: чөктүрүү, кистоталык гидролиз, щелочтык ажыратуу, метилдөө, ацетилдөө кычкылдандыруу-калыбына келтирүү реакциялары жүргүзүлдү.

Бөлүнүп алынган заттардын оптикалык активдүүлүгү Polomat A поляриметринде аныкталды.

Бөлүнүп алынган заттарды идентификациялоо мурда башка өсүмдүктөрдөн алынган таза заттардын үлгүлөрүнө, физико-химиялык турактуулуктарына салыштыруу аркылуу жүргүзүлдү.

#### **Эксперименталдык жумуштар**

##### **1. Өсүмдүк тамырынан кумариндердин суммасын бөлүп алуу**

Изилдөөгө даярдалган сырьёдон 350 грамм алып, жарык өткөрбөгөн айнек идиште 75%түү этанолдо экстракцияланды. Пайда болгон экстракт сүзүү жолу менен бөлүнүп алынып, 60-70°C температурада ротордук бууландырып айдоочу аппаратта экстрагенти бууландырылып, коймолжун масса

алынды. Экстракт 1:1 катышта суу менен суюлтулуп, уюлдуулугуна карай органикалык эриткичтерде: диэтил эфирде, этилацетатта жана Н-бутанолдо фракцияларга ажыратылды. ЖКХ методу менен текшергенде кумариндер этилацетат фракциясында байкалгандыктан ушул фракция колонкалуу хроматография методу менен бөлүштүрүлдү (1-схема).

**1. Этилацетат фракциясынан кумариндерди ажыратып алуу**

Этилацетат фракциясынан 3г алып, 3г силикагельге сиңирип кургатылды. Таза заттарды ажыратып алуу үчүн хроматографиялык колонкага ( $d=3\text{см}$ ;  $h=100\text{см}$ ;  $m(\text{силикагель})=100\text{г}$ ) жайгаштырылып, петролейн эфир – хлороформ (2:1) системасы менен колонканы жууганда 8-14-элуюаттардан хроматограммалары УФ-жарыгында көгүш түстө флюоресценцияланган кумариндерге мүнөздүү окшош заттар алынды. Бул затты идентификациялаганга чейин **FC-1 (Ferula Conocaula -1)** деп атап турдук (1-схема).

**FC-1** заты: бир аз саргыч түстөгү, даамы ачуу, жаңы орулган чөп жыттанган майда кристалдык порошок. Сууда, спиртте эрибейт, хлороформдо, этилацетатта, ацетондо жакшы эрийт. Эрүү температурасы:  $T_m(\text{FC-1}) = 120-121^\circ\text{C}$ , оптикалык активдүүлүгү  $[\alpha]_D^{22}(\text{FC-1}) = -20$ ; флуоресценциясы жана Rf чоңдугу: (ЖКХ методу, «Silufol UV-254» пластинкасында)  $R_f(\text{FC-1})=0,42$  болгон, УФ-жарыгында көгүш түстө флюоресценцияланган зат.

**4. FC-1 затынын химиялык касиеттери**

Бөлүнүп алынган FC-1 затынын кумариндерге тиешелүү экендигин аныктоо үчүн, кумариндерге мүнөздүү болгон бир нече сапаттык реакциялар жүргүзүлдү:

**Щелочтук реакция.** 50мл түбү томпок колбага заттын хлороформдогу эритмесинен 4-5-тамчы алып, үстүнө натрийдин гидроксидинин NaOH 10%түү эритмесинен 4-5 тамчы кошуп суу баясында ысытылды. Эритменин сары түскө өтүшү бул заттын кумариндерге таандык экендигин билдирди.

**Кислоталык гидролиздөө.** Жогорудагы щелочтык гидролиздөөдөн алынган сары түстөгү эритмени муздатып, үстүнө суюлтулган HCl эритмесинен тамчылатканда, эритменин чаңылттынып кетиши, FC-1 затынын кумариндерге тиешелүү экендигин дагы бир жолу далилдеди.

**Диазоттоштуруу реакциясы.** FC-1 затынын этанолдук эритмесинен 1,0мл алып, үстүнө натрий гидроксидинин NaOH 0,1 мольдуу эритмесинен кошуп, суу баясында 10 минута жай ысытылды. Аралашма муздандан кийин үстүнө сульфанил кислотасынын жаңы даярдалаган диазоттолгон эритмесинен тамчылатканда кумариндерге мүнөздүү ток кызыл түскө өттү.

Жогоруда эксперименттик алынган жыйынтыктардын баары алынган заттын кумариндерге таандык экендигин далилдейт.

**1-схема**  
**Ferula Conopsea** өсүмдүгүнүн тамырынан кумариндерди бөлүп алуунун схемасы



**Алынган сумманы суюлтуу 1:1**

**3. FC-1 затынын физикалык касиеттери**

**5. FC-1 затын химиялык деструкциялоо.**

**Кислоталык гидролиздөө.** FC-1 затынан 0,01гр алып, оозу шлифтенген 50мл түбү тоголок колбага салынып, 2мл укуз кислотасында эритилди. Анын үстүнө 2-3 мл конц.  $H_2SO_4$  кошуп, 30минутага калтырылды. Алынган аралашма 1:1 катышка чейин суу менен суюлтурулду. Бөлгүч воронкага куюп, чайкоо менен 5,0 мл диэтиэфиринде фракцияланды. Фракция ажыратылып, 5%түү жегич калийдин эритмеси менен нейтралдаштырылды. Натыйжада щелочко

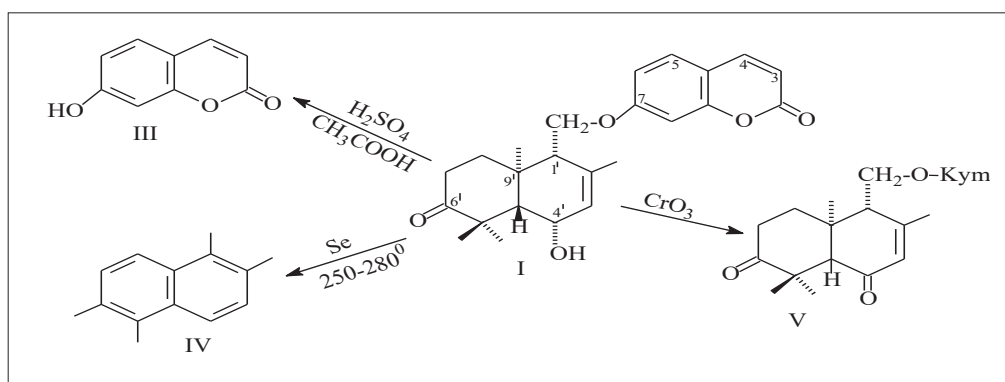
эрип чыккан бөлүгүнөн  $T_{э}=230-232^{\circ}C$  болгон умбеллиферон (III) заты алынды (2-схема).

**Дегидрлөө.** Жылуулука чыдамдуу томпок түптүү колбага FC-1 затынын селен (Se) менен 1:1 катыштагы аралашмасын салып, алгач жай, кийин тез  $250-260^{\circ}C$ ка чейин ысытылды. Алынган аралашма музданган кийин бөлгүч воронкада диэтил эфири менен экстракцияланды. Колонкада бөлүштүрүп,  $T_{э}=112-113^{\circ}C$  болгон, 1,2,5,6 тетраметилнафталин (IV) алынды.

**Хромдук кычкылдандыруу.** FC-1 затынын хлороформдогу эритмесинен 4-5тамчы алып, үстүнө хром ангидридинен бир аз салып ысытканда: химиялык курамы  $C_{24}H_{26}O_5$ ,  $T_{э}=150-152^{\circ}C$ ,  $M_m=394$  болгон конфердион заты (V) алынды.

**2-схема**

**FC-1 затын химиялык изилдөө схемасы**

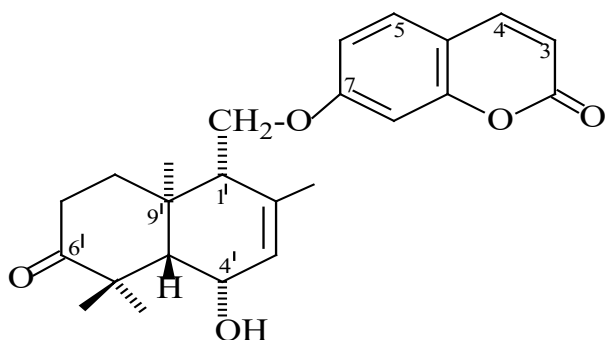


**Жыйынтык**

1. *Ferula Conopsea* өсүмдүгүнүн тамырынан FC-1 заты бөлүнүп алынды.

2. Ал заттын физикалык, химиялык касиеттери, физико-химиялык константалары (Тэ, Rf чоңдугу, оптикалык активдүүлүгү [ $\alpha_D^{22}$ ]) аныкталды.

3. Эксперименттик жыйынтыктар, адабияттык маалыматтарга салыштырылып, мурда Тажикстандын Могол-Тау капчыгайында өскөн ушул өсүмдүктөн бөлүнүп алынган химиялык курамы  $C_{24}H_{28}O_5$  болгон **фероколин** заты менен идентификацияланды.

**Фероколин затынын структуралык формуласы жана конфигурациясы****Колдонулган адабияттар:**

1. Ботбаева М.М. Кыргызстандын өсүмдүктөр дүйнөсү (окуу китеп ЖОЖдор үчүн), -Б.:Ай-ат,2011. -572б.
2. Бабеков А.У., Саидходжаев А.И., Кенешов Б.М. - Сложные эфиры *Ferula kuhistanica*. - химия природных соединений., 2000, №2, с. 174.
1. Бабеков А.У., Кенешов Б.М., Саидходжаев А.И. Терпеноиды *Ferula Litwinowiana*. Химия природн. соедин. №3, "ФАН". Ташкент, 1999. -С.405-406.
2. Бабеков А.У. Кенешов Б.М.Саидходжаев А.И. Терпеноидные кумарины *Ferula Kokanica*. Химия природн. соедин. №2, "ФАН". Ташкент, 2000. -С.175
3. Бабеков А.У. Кенешов Б.М.Саидходжаев А.И. *Ferula Litwinowiana* өсүмдүгүнүн кумариндерин изилдөө. Вестник ОшГУ 2001, серия Естественные науки №2, -С. 45-46
4. Бабеков А.У. Кенешов Б.М.Саидходжаев А.И. Строение кухферинина. Химия природн. соедин. №6, "ФАН". Ташкент, 2001. -С.502
5. Бабеков А.У., Кенешов Б.М.,Саидходжаев А.И. Строение феркухина. Химия природн. соедин. №2, "ФАН". Ташкент, 2001. -С.169
6. Бабеков А.У., Кенешов Б.М.,Саидходжаев А.И., Мурзубраимов Б.М.Терпеноидные кумарины двух видов рода *Ferula* L. Наука. Образования. Техника, Ош, 2001, №1. -С, 26-27.
7. Кенешов Б.М., Бабеков А.У., Маткасымова К. Терпеноидные кумарины *Ferula Kokanica*. Тезисы докладов студенческой научно-практической конференции "Молодёжь-за престижное и элитное образование в XXI веке".Ош, 2001. -С.47
8. Бабеков А.У.,Саидходжаев А.И., Мурзубраимов Б.М. Строение феркухинина. Химия природн. соедин. №3, "ФАН". Ташкент, 2001. -С.247
9. З.А. Кулиев, Т.Х.Хасанов. Строение фероколина, фероколинина, фероколидина и фероколицина. Химия природн. соедин. №3, "ФАН". Ташкент, 1978. -С.322-327

УДК 662.74:004.8

**Омурбекова Гулзат Кочкорбаевна,**  
*кандидат технических наук, доцент*

**ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ВЫХОДА ПОЛУКОКСА МЕТОДАМИ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ  
НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА СЫРЬЕВЫХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ**

**Өмүрбекова Гүлзат Кочкорбаевна,**  
*техника илимдердин кандидаты, доцент*

**МАШИНАЛЫК ОКУТУУ ЫКМАЛАРЫНЫН НЕГИЗИНДЕ ЧИЙКИ  
ЖАНА ТЕХНОЛОГИЯЛЫК ПАРАМЕТРЛЕРДИ ТАЛДОО АРКЫЛУУ  
ЖАРЫМ КОКСТУН ЧЫГУУСУН БОЖОМОЛДОО**

**Omurbekova Gulzat Kochkorbaevna,**  
*Candidate of Technical Sciences, Associate Professor*

**PREDICTION OF SEMI-COKE YIELD USING MACHINE LEARNING METHODS BASED  
ON THE ANALYSIS OF RAW MATERIAL AND TECHNOLOGICAL PARAMETERS**

*Кыргызско-Узбекский Международный университет им.  
Б. Сыдыкова, Ош, Кыргызская Республика*

*Б. Сыдыков ат. Кыргыз-Өзбек Эл аралык университети, Ош, Кыргыз Республикасы*

*Kyrgyz-Uzbek International University named by B. Sydykov, Osh, Kyrgyz Republic*

**Аннотация.** В работе представлена разработка и валидация высокоточной прогностической модели, основанной на методах машинного обучения (алгоритм градиентного бустинга), для определения выхода полукокса в процессе низкотемпературного коксования. Актуальность исследования обусловлена необходимостью оптимизации углехимических процессов, особенно при переработке вариативного сырья, характерного для месторождений Центральной Азии (например, углей Кыргызской Республики).

В качестве входных признаков использовался комплекс из десяти сырьевых (тип угля, влажность, зольность,  $m_1$ ,  $m_2$ ) и технологических (температура, скорость, расход газа, выход смолы) параметров. Модель продемонстрировала высокую прогностическую способность на тестовой выборке с коэффициентом детерминации ( $R^2$ ) 0.752 и средней абсолютной ошибкой (MAE) 4.055%.

Ключевым результатом является анализ важности признаков, который однозначно выявил доминирующую роль внутренних характеристик сырья над технологическими режимами. Наибольшее влияние на выход полукокса оказывают показатели  $m_1$ , тип каменного угля и  $m_2$ , суммарный вклад которых превышает 60%. Установлено, что оптимизация процесса должна фокусироваться на контроле и подготовке сырья.

Разработанная модель может быть внедрена в автоматизированные системы управления производством для оперативного прогнозирования и стратегического планирования, обеспечивая повышение экономической эффективности и стабильности процесса пиролиза.

**Ключевые слова:** полукокс, пиролиз, машинное обучение, прогнозирование, регрессия, важность признака,  $R^2$ , уголь.

**Аннотация.** Бул эмгекте төмөнкү температурадагы кокстоо процессинде жарым кокстун чыгуусун аныктоо үчүн машиналык окутуу ыкмаларына (градиенттик бустинг алгоритмине) негизделген жогорку тактыктагы прогноздук модел иштелип чыгып, валидацияланды. Изил-

дөөнүн актуалдуулугу болуп, көмүр-химиялык процесстерди оптималдаштыруу зарылчылыгы менен шартталган, айрыкча Борбордук Азиядагы (мисалы, Кыргыз Республикасынын) кендерине мүнөздүү ар түрдүү чийки заттарды кайра иштетүү эсептелинет.

Кийирилүүчү параметрлери катары он көрсөткүчтөн турган комплекс колдонулган - алардын ичинде беш чийки заттык (көмүрдүн түрү, нымдуулук, күлдүүлүк,  $m_1$ ,  $m_2$ ) жана беш технологиялык (температура, ылдамдык, газ чыгымы, смола чыгымы) параметр бар. Модел тесттик тандоодо жогорку прогноздук тактыкты көрсөттү: детерминация коэффициенти ( $R^2$ ) = 0.752, ал эми орточо абсолюттук ката (MAE) = 4.055%.

Негизги натыйжа катары белгилердин маанилүүлүгүн талдоо, анын жыйынтыгында чийки заттын ички мүнөздөмөлөрү технологиялык режимдерге караганда көбүрөөк таасир этери аныкталгандыгын белгилөөгө болот. Жарым кокстун чыгуусуна эң чоң таасир эткен параметрлер -  $m_1$ , көмүрдүн түрү жана  $m_2$ , алардын жыйынды салымы (60%дан ашат). Ошентип, процессти оптималдаштыруу иштери негизинен чийки затты көзөмөлдөөгө жана алдын ала даярдоого багытталууга тийиш.

Иштелип чыккан модел өндүрүштү автоматташтырылган башкаруу тутумдарына киргизүүгө ылайыктуу болуп, реалдуу убакыт режиминде прогноз жүргүзүүгө жана стратегиялык пландаштырууга мүмкүндүк берет. Бул өз кезегинде пиролиз процесстеринин экономикалык натыйжалуулугун жана туруктуулугун жогорулатат.

**Ачкыч сөздөр:** жарым кокс, пиролиз, машиналык окутуу, прогноздоо, регрессия, өзгөчөлүгүнүн мааниси,  $R^2$ , көмүр.

**Abstract.** This paper presents the development and validation of a highly accurate predictive model based on machine learning methods (Gradient Boosting algorithm) for determining semi-coke yield during low-temperature carbonization (pyrolysis). The study's relevance is driven by the necessity to optimize coal chemistry processes, particularly when processing variable raw materials characteristic of Central Asian deposits (e.g., coals from the Kyrgyz Republic).

A complex set of ten input features was used, including raw material characteristics (coal type, moisture, ash,  $m_1$ ,  $m_2$ ) and technological parameters (temperature, speed, gas flow, tar yield). The model demonstrated high predictive capability on the test sample, achieving a coefficient of determination ( $R^2$ ) of 0.752 and a Mean Absolute Error (MAE) of 4.055%.

A key result is the feature importance analysis, which unequivocally revealed the dominant role of internal raw material characteristics over technological regimes. The parameters  $m_1$ , type of coal, and  $m_2$  exerted the greatest influence on semi-coke yield, with their cumulative contribution exceeding 60%. It is established that process optimization should primarily focus on raw material control and preparation.

The developed model can be integrated into automated production control systems for operational forecasting and strategic planning, thereby enhancing the economic efficiency and stability of the pyrolysis process.

**Keywords:** semi-coke, pyrolysis, machine learning, prediction, regression, feature importance,  $R^2$ , coal.

## Введение

Процесс низкотемпературного коксования (пиролиза) угля и других углеродсодержащих материалов является краеугольным камнем углехимической промышленности и энергетики, поскольку он позволяет получать высококачественное твердое топливо (полукокс), ценную жидкую смолу и горючий газ [1]. Для таких регионов, как Центральная Азия, обладающих значительными запасами низкосортных и бурых углей (например, ме-

сторождения Кара-Кече и Таш-Кумыр в Кыргызстане), оптимизация процесса пиролиза приобретает стратегическое значение для повышения энергетической независимости и развития химической промышленности [2]. Эффективность и экономическая целесообразность этого процесса критически зависят от стабильности и величины выхода целевого продукта – полукокса.

Традиционные подходы к моделированию пиролиза, основанные на кинетических

уравнениях или статистическом регрессионном анализе, часто не справляются с учетом нелинейных взаимосвязей между множеством сырьевых (зольность, влажность, тип угля) и технологических параметров (температура, скорость нагрева, расход газа) [3]. Недостаточная точность прогноза приводит к неоптимальному расходу сырья, снижению качества конечного продукта и увеличению операционных издержек. Это определяет актуальность разработки и внедрения интеллектуальных систем прогнозирования, способных обрабатывать большой объем разнородных данных, в том числе для специфических углей Центральной Азии.

Применение методов машинного обучения (МО) в химической технологии и материаловедении демонстрирует экспоненциальный рост. В последние годы методы МО, такие как регрессия на основе случайного леса (Random Forest), градиентный бустинг (Gradient Boosting) и нейронные сети, успешно применяются для решения задач прогнозирования в угольной промышленности [4].

Ряд международных и региональных работ посвящен прогнозированию свойств угля и продуктов его переработки. Например, исследование [5] демонстрирует использование нейронных сетей для прогнозирования теплоты сгорания, а в [6] ансамблевые методы МО применяются для оценки выхода смолы при пиролизе. А работы [2, 7] фокусируются на изучении состава ископаемых углей Кыргызстана и их реакционной способности. Однако, несмотря на наличие работ по моделированию отдельных аспектов процесса, комплексное изучение и ранжирование влияния всего спектра сырьевых и технологических факторов на выход именно полукокса с использованием анализа важности признаков (Feature Importance) применительно к местному сырью остается недостаточно освещенным. Данный подход позволяет не просто прогнозировать результат, но и выявлять наиболее критичные параметры процесса, что является основой для принятия управленческих решений.

Цель работы состоит в разработке и валидации высокоточной прогностической модели на основе машинного обучения для определения выхода полукокса и выявления наиболее значимых факторов, влияющих на

этот показатель, с целью оптимизации технологического процесса пиролиза с учетом особенностей углехимического сырья Кыргызстана.

Предметом исследования являются статистические и нелинейные зависимости между комплексом входных параметров (сырьевых характеристик: влажность, зольность, тип угля, и технологических режимов: температура, скорость, расход газа) и выходом полукокса при низкотемпературном коксовании.

Для достижения поставленной цели сформулированы следующие задачи:

1. Сформировать репрезентативный набор данных, включающий сырьевые и технологические параметры.
2. Разработать и обучить регрессионную модель машинного обучения (например, Random Forest) для прогнозирования выхода полукокса.
3. Оценить точность разработанной модели с использованием метрик R2 и MAE.
4. Провести анализ важности признаков для количественного определения вклада каждого параметра в формирование выхода полукокса.

#### 1. Методология и материалы

В основу исследования положены эмпирические данные, полученные в результате серии лабораторных и полупромышленных испытаний процесса низкотемпературного коксования (пиролиза). Исходное сырье представлено образцами бурых и каменных углей, включая угли месторождений Центральной Азии (например, Кара-Кече, Кыргызстан) и аналогичные по составу угли других регионов, что обеспечивает репрезентативность выборки [1, 2].

Набор данных (датасет) включает 10 входных признаков (предикторов) и одну целевую переменную (Выход полукокса, %). Входные признаки разделены на две группы:

#### 1. Сырьевые характеристики:

- Категориальный признак, отражающий степень метаморфизма и химический класс сырья (например, бурый, длиннопламенный, газовый) (Тип каменного угля);
- Процентное содержание влаги в рабочем состоянии (Влажность, (Wa)),
- Процентное содержание негорючего остатка (Зольность, (Ad));

- Процентное содержание серы (Содержание серы, Sd)

- Комплексные физико-химические показатели, характеризующие реакционную способность и пластичность угольной шихты (например, выход летучих веществ, спекаемость) (m1 и m2,).

## 2. Технологические параметры:

- максимальная температура пиролиза (°C) (Температура, (T);

- скорость повышения температуры (°C/мин) (Скорость нагрева, (Vнагр);

- Объемная скорость подачи газа-теплоносителя (л/мин) (Расход инертного газа, Qгаза): [3].

- Массовый выход жидких продуктов пиролиза (%) (Выход смолы, Vсмола).

Для работы с моделью машинного обучения категориальный признак Тип каменного угля был преобразован с использованием техники One-Hot Encoding. Все числовые признаки были нормализованы (или стандартизированы) для исключения доминирования признаков с большим диапазоном значений.

Для решения задачи регрессии (прогнозирование числового значения – выхода полукокса) был выбран алгоритм градиентного бустинга над деревьями решений (Gradient Boosting Regressor). Выбор данного алгоритма обусловлен его высокой эффективностью в работе с нелинейными, гетерогенными данными и его способностью автоматически вычислять важность признаков (Feature Importance) [4].

Процесс моделирования включал следующие шаги:

1. Исходный датасет был разделен на обучающую (70%) и тестовую (30%) выборки. Обучающая выборка использовалась для настройки параметров модели, тестовая – для независимой оценки ее обобщающей способности.

2. Для подбора оптимальных параметров модели (например, число деревьев, максимальная глубина, скорость обучения) использовался метод кросс-валидации (k-fold cross-validation) в сочетании с алгоритмом Grid Search [5].

Качество прогностической модели оценивалось по стандартным метрикам регрессии:

1. Коэффициент детерминации (R<sup>2</sup>), который определяет долю дисперсии целевой переменной, объясняемую моделью. Чем ближе R<sup>2</sup> к 1, тем выше прогностическая сила модели.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad (1)$$

где  $y_i$  – фактическое значение,  $\hat{y}_i$  – прогнозируемое значение,  $\bar{y}$  – среднее значение.

Средняя абсолютная ошибка (MAE) представляет собой среднюю величину абсолютной разницы между прогнозируемыми и фактическими значениями, выраженную в единицах целевой переменной (проценты выхода полукокса).

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i - \hat{y}_i| \quad (2)$$

После обучения модели был проведен анализ важности признаков (Feature Importance), который является встроенной функцией алгоритмов на основе деревьев решений. Важность признака рассчитывается на основе того, насколько часто и эффективно данный признак используется для разделения данных на более чистые подмножества в процессе построения деревьев. Результаты этого анализа были визуализированы (см. Рисунок 1 в разделе «Результаты») для количественной оценки вклада каждого параметра в прогнозирование выхода полукокса.

## 2. Результаты и обсуждение

### 2.1. Оценка точности прогностической модели

Обученная модель **градиентного бустинга над деревьями решений** была протестирована на независимой выборке (30% данных), не использовавшейся в процессе обучения. Точность модели оценивалась по коэффициенту детерминации (R<sup>2</sup>) и средней абсолютной ошибке (MAE). Результаты, представленные в Таблице 1, демонстрируют высокую прогностическую способность разработанного инструмента:

Экспортировать в таблицы

Таблица 1. Метрики точности прогностической модели (Run 1)

Метрика	Значение	Интерпретация
Коэффициент детерминации (R2)	0.752	Модель объясняет 75.2% общей дисперсии фактического выхода полукокса.
Средняя абсолютная ошибка (MAE)	4.055	Среднее отклонение прогнозируемого выхода от фактического составляет 4.055 процентных пункта.

Значение R2=0.752 является убедительным для сложного многофакторного химико-технологического процесса, такого как пиролиз, и подтверждает **статистическую значимость** разработанной модели [1]. Полученная ошибка MAE (4.055%) является приемлемой для промышленных расчетов, позволяя оперативно корректировать режимы работы установки для поддержания требуемого выхода полукокса.

## 2.2. Анализ важности признаков

Одним из ключевых преимуществ использования алгоритмов на основе деревьев решений является возможность количественной оценки вклада каждого входного параметра в формирование целевой переменной. На Рисунке 1 представлена **важность признаков** (Feature Importance) – мера того, насколько сильно каждый предиктор влияет на снижение ошибки при построении модели:

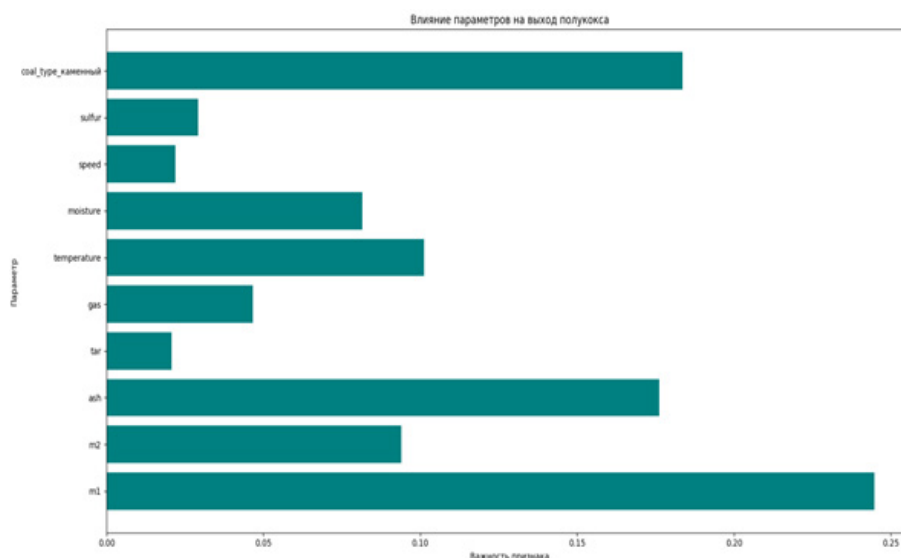


Рисунок 1. Влияние параметров на выход полукокса (Важность признака)

Анализ диаграммы позволяет сделать следующие выводы:

1. Три самых важных признака (m1, Тип каменного угля и m2) являются внутренними характеристиками сырья. Их суммарная важность значительно превышает важность всех технологических параметров.

m1 (важность  $\approx 0.25$ ) и m2 (важность  $\approx 0.15$ ) отражают реакционную способность и физическую структуру угольной матрицы [2]. Высокая значимость m1 указывает на то,

что это самый критический параметр, определяющий выход полукокса. Тип каменного угля (type\_coal), является вторым по значимости фактором ( $\approx 0.20$ ), что полностью согласуется с теорией степень метаморфизма угля напрямую определяет его выход летучих веществ и, соответственно, выход твердого остатка. tar (Выход смолы) и gas (Расход/Выход газа): Демонстрируют среднюю важность. Поскольку смола и газ являются конкурирующими продуктами пиролиза,

увеличение их выхода физически ведет к снижению выхода твердого остатка (полукокса). temperature (Температура) ( $\approx 0.05$ ) и speed (Скорость) ( $\approx 0.03$ ), удивительно низкая важность основных технологических параметров (температуры и скорости нагрева) может свидетельствовать о том, что в используемом диапазоне эти факторы не так критичны для конечного выхода, как качество самого сырья [3]. Это указывает на ограничение возможности оптимизации процесса исключительно за счет изменения технологического режима.

#### **Обсуждение и практическое значение**

Полученные результаты имеют важное практическое значение, особенно для предприятий, работающих на сложном и вариативном сырье, включая угли Кыргызстана:

Обнаруженное доминирование признаков  $m_1$ ,  $m_2$  и Тип угля свидетельствует о том, что наибольший эффект в стабилизации и повышении выхода полукокса даст ужесточение контроля качества поступающего сырья и его тщательная сортировка, а не только тонкая настройка температуры и времени процесса.

Модель позволила количественно оценить влияние абстрактных технологических или физико-химических показателей ( $m_1$ ,  $m_2$ ), которые в традиционных моделях часто остаются факторами «черного ящика», делая их приоритетными для дальнейшего лабораторного и промышленного изучения.

Разработанная модель может быть внедрена в автоматизированные системы управления производством для прогнозирования выхода до загрузки шихты, что позволит прогнозировать экономические показатели и минимизировать потери сырья.

#### **Выводы и заключение**

На основе проведенного исследования по разработке прогностической модели выхода полукокса с использованием методов машинного обучения были получены следующие ключевые выводы:

1. Разработанная модель на основе алгоритма градиентного бустинга продемонстрировала высокую эффективность в прогнозировании выхода полукокса. Коэффициент детерминации ( $R^2$ ) составил 0.752, а средняя абсолютная ошибка (MAE) -4.055%.

Эти метрики подтверждают, что модель способна объяснить и предсказать три четверти вариативности выхода целевого продукта, что делает её применимой для решения инженерных задач и оперативного контроля.

2. Анализ важности признаков (Feature Importance) выявил, что наибольшее влияние на выход полукокса оказывают внутренние характеристики сырья, а не технологические режимы. Наиболее значимыми факторами, определяющими результат, являются комплексные показатели  $m_1$  (важность  $\approx 0.25$ ), Тип каменного угля (важность  $\approx 0.20$ ) и  $m_2$  (важность  $\approx 0.15$ ).

3. Основные технологические параметры, такие как температура и скорость нагрева, обладают относительно низкой важностью в пределах изученного диапазона. Это указывает на то, что возможности оптимизации выхода полукокса в первую очередь зависят от качества исходного сырья (углей, в том числе из месторождений Кыргызстана) и его подготовки, а не от тонкой настройки режима.

#### **Заключение**

Таким образом, данное исследование успешно достигло поставленной цели, разработав точный и интерпретируемый инструмент прогнозирования. Модель машинного обучения не только предоставляет надежный прогноз, но и служит диагностическим средством, однозначно указывая на критическую зависимость выхода полукокса от качества и типа исходного сырья.

Для предприятий, использующих вариативное угольное сырье, стратегически более эффективным является инвестирование в ужесточение контроля качества сырья и его гомогенизацию, чем в сложные системы управления температурой пиролиза. Идентификация высокой важности факторов  $m_1$  и  $m_2$  требует проведения дополнительных физико-химических исследований для полной интерпретации их связи с микроструктурой и реакционной способностью угля.

Разработанная модель может быть интегрирована в автоматизированные системы управления для прогнозирования экономического эффекта и оперативной корректировки состава угольной шихты перед загрузкой.

**Список литературы:**

1. Петров, А. Н. Технология переработки твердого топлива. – М.: Химия, 2022. – 450 с.
2. Джаманбаев, А. Д., Ибраимова, А. М. Технологические особенности коксования углей месторождений Кыргызской Республики // Известия НАН КР. – 2021. – № 4. – С. 101–112.
3. Kozlov, V. N. Advanced kinetic modeling of coal pyrolysis: limitations and future directions // Fuel Processing Technology. – 2023. – Vol. 248. – P. 107990.
4. Смирнова, И. А. Прогнозирование теплоты сгорания угля с использованием искусственных нейронных сетей // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – 2024. – № 1. – С. 55–63.
5. Lee, J. H., Kim, M. S. Predicting coal tar yield in fast pyrolysis using ensemble machine learning models // Energy. – 2021. – Vol. 220. – P. 119642.
6. Абдыкадыров, Р. С. Анализ элементного состава бурых углей Кара-Кече // Вестник Кыргызско-Российского Славянского университета. – 2020. – Т. 20, № 11. – С. 120–126.
7. ГОСТ Р 7.0.7–2021. Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Статьи в журналах и сборниках. Издательское оформление.

УДК 669.017.3:553.49:004.852

**Омурбекова Гулзат Кочкорбаевна,**  
*кандидат технических наук, доцент*

**КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ СИНТЕЗА  
ТЕХНИЧЕСКОГО КРЕМНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ АЛГОРИТМОВ  
МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ**

**Өмүрбекова Гүлзат Кочкорбаевна,**  
*техника илимдердин кандидаты, доцент*

**КЫРГЫЗ РЕСПУБЛИКАСЫНДАГЫ КУМ КЕНДЕРИНИН ХИМИЯЛЫК КУРАМЫ ЖАНА  
ГРАНУЛОМЕТРИЯСЫНЫН НЕГИЗИНДЕ КРЕМНЕЗЕМДИН ТАЗАЛЫГЫН АЛДЫН АЛА  
БОЛЖОЛДОО ҮЧҮН МАШИНАЛЫК ОКУУ**

**Omurbekova Gulzat Kochkorbaevna,**  
*Candidate of Technical Sciences, Associate Professor*

**MACHINE LEARNING FOR PREDICTING SILICA PURITY BASED  
ON THE CHEMICAL COMPOSITION AND GRANULOMETRY OF SAND  
IN THE KYRGYZ REPUBLIC**

*Кыргызско-Узбекский Международный университет им.  
Б. Сыдыкова, Ош, Кыргызская Республика*

*Б. Сыдыков ат. Кыргыз-Өзбек Эл аралык университети,  
Ош, Кыргыз Республикасы*

*Kyrgyz-Uzbek International University named by B. Sydykov,  
Osh, Kyrgyz Republic*

**Аннотация.** В статье представлены результаты исследования влияния химического состава и гранулометрических характеристик кварцевого сырья различных месторождений Кыргызстана (Таш-Кумыр, Сулюкта, Озгур) на чистоту технического кремния с использованием методов математического моделирования и элементов машинного обучения. Проведён элементный анализ показал существенные различия между месторождениями: содержание  $\text{SiO}_2$  в Таш-Кумыре составляет ~94,3 %, тогда как в Сулюкте оно не превышает 85 %, при заметно более высоком уровне  $\text{Al}_2\text{O}_3$  и других примесей. Разработанная модель сочетает линейное влияние оксидов-примесей ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ) и квадратичную зависимость от размера частиц с последующей калибровкой весовых коэффициентов на основе алгоритмов машинного обучения. Моделирование подтвердило, что оптимальный размер фракций (0,05 мм) обеспечивает максимальную чистоту, а отклонения снижают её на 2–5 %. Построенные прогнозные кривые выявили преимущество Таш-Кумырского сырья (до 98 % чистоты). Полученные результаты демонстрируют потенциал интеграции машинного обучения для повышения точности прогнозов и обоснованного выбора месторождений.

**Ключевые слова:** технический кремний, кварцевый песок, машинное обучение, моделирование, гранулометрия, примеси, прогнозирование.

**Аннотация.** Бул макалада Кыргызстандын ар кандай кендеринин (Таш-Кумыр, Сулүктү, Озгур) кварц чийки затынын химиялык курамы менен гранулометриялык өзгөчөлүктөрүнүн техникалык кремнийдин тазалыгына тийгизген таасирин математикалык моделдөө ыкма-

лары жана машиналык окутуунун элементтери аркылуу изилденди. Жүргүзүлгөн элементтик анализ кендердин ортосунда олуттуу айырмачылыктар бар экенин көрсөттү: Таш-Кумыр кварцында  $\text{SiO}_2$  үлүшү  $\sim 94,3$  % түзсө, Сүлүктүдө ал 85 %дан ашпайт жана кошумча түрдө  $\text{Al}_2\text{O}_3$  жана башка аралашмалардын деңгээли жогору. Иштелип чыккан модель аралашмалардын оксиддеринин ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ) түз таасирин жана бөлүкчөлөрдүн өлчөмүнө болгон квадратикалык көз карандылыкты бириктирип, салмак коэффициенттерин машиналык окутуу алгоритмдеринин негизинде калибрлөө мүмкүнчүлүгүн берет. Моделдөө көрсөткөндөй, бөлүкчөлөрдүн оптималдуу өлчөмү (0,05 мм) эң жогорку тазалыкты камсыз кылат, ал эми четтөөлөр тазалыкты 2–5 % га төмөндөтөт. Прогноздук ийри сызыктар Таш-Көмүр кумунун артыкчылыгын ачып көрсөттү (тазалык 98 % га чейин). Алынган натыйжалар машиналык окутууну интеграциялоо аркылуу божомолдордун тактыгын жогорулатуунун жана кендерди негиздүү тандоонун мүмкүнчүлүгүн далилдейт.

**Ачкыч сөздөр:** техникалык кремний, кварц куму, машиналык окутуу, моделдөө, гранулометрия, аралашмалар, прогноздоо.

**Abstract.** This article presents the results of a study on the influence of chemical composition and granulometric characteristics of quartz raw materials from various deposits in Kyrgyzstan (Tash-Kumyr, Sulyukta, Ozgur) on the purity of metallurgical-grade silicon, using methods of mathematical modeling and elements of machine learning. Elemental analysis revealed significant differences between the deposits: the  $\text{SiO}_2$  content in Tash-Kumyr quartz reaches  $\sim 94.3$  %, while in Sulyukta it does not exceed 85 %, accompanied by a considerably higher level of  $\text{Al}_2\text{O}_3$  and other impurities. The developed model combines the linear effects of oxide impurities ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ) and a quadratic dependence on particle size, with weight coefficients calibrated using machine learning algorithms. Modeling confirmed that the optimal particle size (0.05 mm) ensures maximum purity, while deviations reduce it by 2–5 %. Predictive curves highlighted the advantage of Tash-Kumyr raw material (up to 98 % purity). The results demonstrate the potential of integrating machine learning to improve prediction accuracy and provide a rational basis for selecting promising deposits.

**Keywords:** metallurgical-grade silicon, quartz sand, machine learning, modeling, granulometry, impurities, prediction.

### Введение

Развитие микроэлектроники, солнечной энергетики и современной полупроводниковой промышленности тесно связано с качеством исходного сырья, т.е. кремнезема. Даже минимальные концентрации примесей, таких как  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$  и  $\text{K}_2\text{O}$ , существенно ухудшают электрические и оптические свойства конечного продукта, снижая его пригодность для производства высокотехнологичных изделий [1,2]. В связи с растущим мировым спросом на «solar-grade» и «semiconductor-grade» кремний всё более актуальной становится задача поиска и отбора месторождений, обеспечивающих исходное сырьё с высоким содержанием  $\text{SiO}_2$  и минимальным количеством примесей [3].

Кыргызстан обладает значительными запасами кварцевого сырья, расположенными в различных регионах страны (Таш-Кумыр, Сулюкта, Озгур и др.), однако состав этих месторождений существенно различа-

ется. Согласно данным элементного анализа, в кварцевом песке Таш-Кумыра содержание  $\text{SiO}_2$  достигает  $\sim 94,3$  %, а доля примесей  $\text{Al}_2\text{O}_3$  составляет лишь 1,8 %. Для Сулюкты содержание  $\text{SiO}_2$  не превышает 85 %, при этом уровень  $\text{Al}_2\text{O}_3$  достигает 10,5 %, а также присутствуют заметные концентрации  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$  и  $\text{K}_2\text{O}$  [4]. Это свидетельствует о том, что исходный химический состав месторождения оказывает решающее влияние на последующую чистоту технического кремния.

В мировой научной литературе всё больше внимания уделяется разработке технологий и моделей, позволяющих прогнозировать чистоту кремния на основе комплексных параметров: химического состава и гранулометрических характеристик сырья. В работах [5,6] демонстрируются оптимальный размер частиц кварцевого песка (порядка 0,05 мм) обеспечивает максимальный выход чистого кремния, тогда как отклонения в меньшую или большую сторону приводят к снижению

эффективности очистки. Исследования [7] показали, что именно примеси  $Fe_2O_3$  представляют особую проблему при переработке, поскольку их удаление требует применения сложных гидрометаллургических методов.

Новые подходы включают применение машинного обучения для прогнозирования качества кремния [8], а также комплексные обзоры по управлению примесями и технологиям очистки высокочистого кварца [9,10]. В отечественных исследованиях также отмечается, что использование математических моделей и компьютерной визуализации существенно ускоряет принятие решений в промышленности [4].

Таким образом, исследование зависимости чистоты технического кремния от химического состава кварцевого сырья и гранулометрических характеристик имеет важное практическое и теоретическое значение. В отличие от работ, где отдельные параметры (состав или размер частиц) анализируются изолированно, настоящая работа направлена на построение комплексной модели, учитывающей взаимодействие факторов. Это позволит не только оптимизировать выбор сырья в условиях Кыргызской Республики, но и разработать универсальные методологические подходы для других регионов с аналогичной сырьевой базой [5,6].

### Материалы и методы

В качестве объектов исследования были выбраны образцы кварцевого сырья из трёх основных месторождений Кыргызстана - Таш-Кумыр, Сулюкта и Озгур. Данные месторождения отличаются как по содержанию диоксида кремния, так и по уровню оксидов-примесей, что делает их показательной выборкой для сопоставительного анализа. Кварцевые пески Таш-Кумырского месторождения характеризуется высоким содержанием  $SiO_2$  (~94,3 %) и низким уровнем примесей ( $Al_2O_3$  ~1,8 %, Сулюктинского месторождения имеет более низкое содержание  $SiO_2$  (~85 %) и значительно более высокие концентрации  $Al_2O_3$  (~10,5 %), а также присутствие  $Fe_2O_3$  (~0,83 %),  $MgO$  (~0,7 %) и  $CaO$  (~0,97 %) а также Озгурского месторождения известно по исследованиям гранулометрии и морфологии песков, однако химический состав менее изучен и требует дополнительного уточнения [11].

Для всех образцов фиксировались показатели: содержание основных оксидов ( $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $MgO$ ,  $K_2O$ ,  $CaO$ ) и гранулометрический состав (размер частиц в диапазоне 0,01–0,1 мм).

Определение содержания оксидов проводилось методом рентгенофлуоресцентного анализа (XRF) и спектрофотометрии в специализированных лабораториях. Для верификации отдельных результатов применялась атомно-абсорбционная спектроскопия (ААС). Размер частиц песка определялся методом лазерной дифракции с использованием анализаторов типа Mastersizer 3000. Дополнительно применялся ситовой анализ для фракций выше 0,05 мм. Для изучения морфологии использовалась сканирующая электронная микроскопия (SEM), что позволило уточнить форму частиц и выявить поверхностные дефекты, влияющие на удержание примесей.

Для прогнозирования чистоты технического кремния использовалась обученная модель, включающая:

- линейное влияние оксидов-примесей с весовыми коэффициентами ( $impurity_i$ ) на базовое содержание  $SiO_2$ ;
- параболическую зависимость чистоты от размера частиц, с максимумом при оптимальном значении (0,05 мм), что согласуется с данными [5,6].

Формула модели имела следующий вид:

$$P = \alpha \cdot [SiO_2] + \sum_{i=1}^n \beta_i \cdot [Impurity_i] - \gamma \cdot (d - d_{opt})^2$$

(1)

где:

$P$  - прогнозируемая чистота кремния (%);

$[SiO_2]$  - содержание диоксида кремния;

$[Impurity_i]$  - содержание  $i$ -й примеси;

$\beta_i$  - коэффициент влияния примеси;

$d$  - размер частиц (мм);

$d_{opt}$  - оптимальный размер частиц (0,05 мм);

$\gamma$  - коэффициент снижения чистоты при отклонении от оптимального размера.

Значения коэффициентов  $\beta_i$  и  $\gamma$  подбирались на основе литературных данных [7,9] и калибровки модели по результатам анализа местных образцов.

Для реализации модели и построения прогнозных графиков использовался язык JavaScript с библиотекой Chart.js. Интер-

фейс был создан на основе TailwindCSS, что позволило в интерактивном режиме изменять входные данные (содержание оксидов и размер частиц) и получать визуализиро-

ванные результаты. В дальнейшем модель интегрирована в Python-среду (scikit-learn, TensorFlow) для обучения на экспериментальных данных и это показано в рисунке 1.

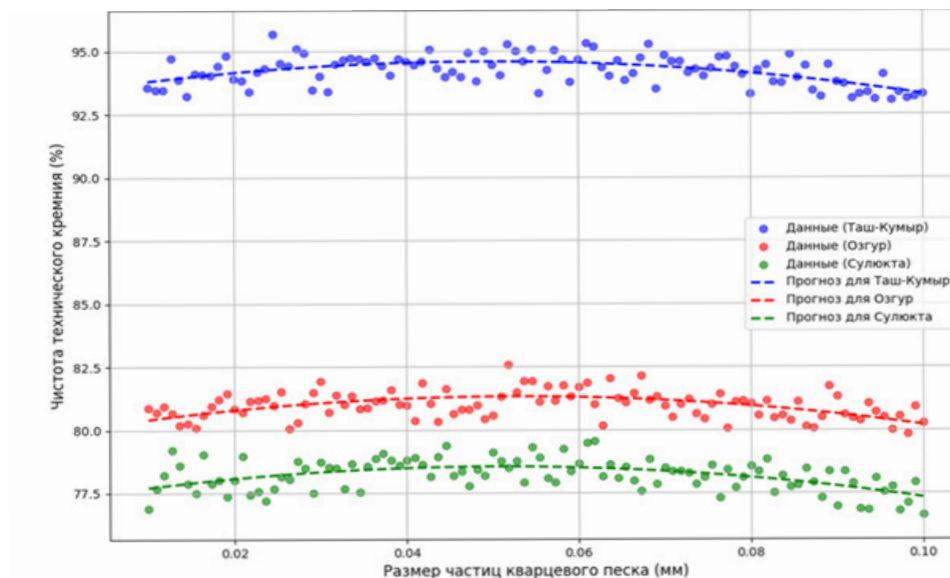


Рисунок 1. График зависимости чистоты кремнезема от размера частиц кварцевого песка.

Этот график является результатом обученной модели машинного обучения и демонстрирует, как несколько факторов влияют на чистоту технического кремния. Здесь видны три отдельные группы данных, которая каждая группа точек соответствует конкретному месторождению: синие точки – для Таш-Кумырского, красные – Озгурского, и зеленые – Сулюктинского месторождения. Группы данных расположены на разных уровнях по оси Y (чистота кремния), что отражает разницу в химическом составе сырья. Как и предполагалось на основе наших данных, сырье из Таш-Кумыра обеспечивает самую высокую чистоту (синие точки), а сырье из Сулюкты – самую низкую (зеленые точки). Пунктирные линии, окрашенные в соответствии с месторождениями, представляют собой прогнозы, построенные моделью. Поскольку модель теперь учитывает химический состав, она способна создать отдельную кривую прогноза для каждого месторождения, что делает ее гораздо более точной и полезной. Каждая кривая показывает, как чистота будет меняться в зависимости от размера частиц для конкретного месторождения.

Для проверки достоверности модели проведено сравнение прогнозируемых значений чистоты с данными, полученными в ходе лабораторных экспериментов. Оценка воспроизводимости проводилась путём многократного повторения анализа для одних и тех же проб, при этом относительное отклонение не превышало 2–3 %.

#### Результаты и обсуждение

Результаты анализа подтвердили существенные различия в химическом составе кварцевого сырья трёх месторождений Кыргызстана.

Кремнезем из Таш-Кумырского месторождения, который содержит  $\text{SiO}_2$  составил  $\sim 94,3$  %, при низком уровне  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ( $\sim 1,8$  %) и практически полном отсутствии  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$  и  $\text{CaO}$ . Кремнезем из Сулюктинское месторождения содержит  $\text{SiO}_2$  оказалось значительно ниже ( $\sim 85$  %), а уровень  $\text{Al}_2\text{O}_3$  достигал  $\sim 10,5$  %. Дополнительно зафиксировано присутствие  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  ( $\sim 0,83$  %),  $\text{MgO}$  ( $\sim 0,7$  %) и  $\text{CaO}$  ( $\sim 0,97$  %). А также кремнезем из Озгурского месторождения детальный химический состав представлен ограниченно; предварительные данные указывают на содержание  $\text{SiO}_2$  порядка 88–89 %, при более

высоком уровне калийсодержащих примесей ( $K_2O \sim 5,5\%$ ) [11].

Сравнительный анализ подтверждает, что сырьё из Таш-Кумыра является наиболее перспективным для получения кремнезема высокой чистоты. Этот вывод согласуется с литературными данными, где подчёркивается, что высокое содержание  $SiO_2$  и низкий уровень  $Al_2O_3$  и  $Fe_2O_3$  являются ключевыми факторами при выборе месторождений [7,9].

Моделирование показало, что зависимость чистоты кремния от размера частиц имеет форму перевёрнутой параболы. Оптимальный размер фракций составил 0,05 мм, при котором достигается максимальная чистота. При уменьшении размера частиц до 0,01–0,02 мм наблюдалось снижение чистоты на 2–4 % в связи с трудностью удаления мелкодисперсных примесей. При увеличении размера свыше 0,07–0,1 мм чистота также снижалась на 3–5 % из-за сохранения поверхностных загрязнений и недостаточного взаимодействия реагентов.

Этот результат хорошо согласуется с экспериментальными исследованиями [5], показавшими, что оптимальная гранулометрия критически влияет на выход кремния при карботермическом восстановлении.

Интерактивная модель позволила построить прогнозные зависимости чистоты кремния от размера частиц для каждого месторождения. Кривая для пески из Таш-Кумырского месторождения располагалась выше остальных, достигая максимума  $\sim 98\%$  при оптимальном размере частиц, для кривая из Озгурского месторождения занимала

промежуточное положение ( $\sim 93\text{--}94\%$ ), что объясняется относительно высоким содержанием  $K_2O$ , а также кривая из пески Сулюктинского месторождения демонстрировала наименьшие значения (максимум  $\sim 89\text{--}90\%$ ), что связано с высоким содержанием  $Al_2O_3$  и других оксидов-примесей.

Таким образом, даже при одинаковой гранулометрии химический состав определял «потолок» возможной чистоты конечного продукта. Этот вывод подтверждает тезис [6] согласно которому качество кварцевого сырья играет более важную роль, чем отдельные технологические факторы.

Для получения кремния, пригодного для полупроводниковой промышленности, предпочтение следует отдавать Таш-Кумырскому сырью, где минимальное содержание примесей обеспечивает более высокий уровень чистоты. Сулюктинское сырьё требует дополнительных этапов очистки (кислотное травление, термическая обработка), что увеличивает себестоимость продукции [8]. Озгурское сырьё может рассматриваться как альтернативный источник, однако его использование ограничено повышенным содержанием щелочных примесей ( $K_2O$ ).

Таким образом, результаты исследования показывают, что оптимальный размер частиц и исходный химический состав сырья являются ключевыми параметрами, определяющими чистоту кремнезема. Таш-Кумырское месторождение выделяется как наиболее перспективное, что имеет стратегическое значение для развития кремниевой промышленности Кыргызской Республики.

#### Список литературы:

1. Куропаткин, В. Н. Технологические аспекты производства кремния из кварцевого сырья // Химическая промышленность. – 2008. – № 6. – С. 12–17.
2. Рогов, А. И., & Иванова, Л. П. Влияние примесей в кварцевом сырью на качество получаемого кремния // Металлургия цветных металлов. – 2012. – № 3. – С. 56–62.
3. Садыков, К. С. Технология получения технического кремния из кварцевого сырья Кыргызстана // Горный вестник Кыргызстана. – 2015. – № 2. – С. 45–51.
4. Абдраимов, Ж. Т., Касымбеков, Б. Ж., & Жунушалиева, А. С. Очистка кварцевого сырья для получения кремния высокой чистоты // Вестник Кыргызско-Российского Славянского университета. – 2023. – Т. 23, № 4. – С. 88–94.
5. Liu, P., Chen, X., & Zhao, F. Influence of particle size and impurities on silicon yield during carbothermal reduction // *Ceramics International*. – 2019. – Vol. 45, No. 8. – P. 11023–11031. DOI: 10.1016/j.ceramint.2019.02.110.

6. Zhang, Q., Liu, J., Wang, H., & Xu, Y. High-purity quartz: a review of current research and future prospects // *Journal of Materials Research and Technology*. – 2021. – Vol. 12. – P. 1251–1264. DOI: 10.1016/j.jmrt.2020.12.087.

7. Tuncuk, A., Akcil, A., Yigit, S., & Deveci, H. Iron removal in production of purified quartz by hydrometallurgical methods // *Hydrometallurgy*. – 2016. – Vol. 161. – P. 1–9. DOI: 10.1016/j.hydromet.2016.01.006.

8. Kim, J., Park, S., & Choi, Y. Machine learning-based prediction of silicon purity from quartz raw material // *Applied Sciences*. – 2020. – Vol. 10, No. 22. – Article 8086. DOI: 10.3390/app10228086.

9. Long, H., Li, W., Sun, J., & others. Advanced processing techniques and impurity management for high-purity quartz in diverse industrial applications // *Minerals*. – 2024. – Vol. 14, No. 6. – Article 571. DOI: 10.3390/min14060571.

10. Recent advances in the marketing, impurity characterization and purification of quartz // *Physicochemical Problems of Mineral Processing*. – 2023. – Vol. 59, No. 1. – P. 56–72. DOI: 10.37190/ppmp/158078.

11. Омурбекова Г. К., Адылова Э. С., Жапаркулов А. М. Исследование фрактальной размерности частиц кварцевых песков Таш-Кумырского и Озгурского месторождений // *Известия национальной академии наук Кыргызской Республики*. – 2022. – №. 5. – С. 16–22.

УДК 66.0 66.09

**Орозбаева Жылдызкан Мариповна,**  
*кандидат биологических наук, доцент*  
**РАЗРАБОТКА СОСТАВА И ТЕХНОЛОГИИ МИКРОКАПСУЛ  
СЕЛЕНООРГАНИЧЕСКОГО СОЕДИНЕНИЯ**

**Орозбаева Жылдызкан Мариповна,**  
*биология илиминин кандидаты, доцент*  
**СЕЛЕНООРГАНИКАЛЫК КОШУЛМАНЫН МИКРОКАПСУЛАСЫНЫН КУРАМЫН  
ЖАНА ТЕХНОЛОГИЯСЫН ИШТЕП ЧЫГУУ**

**Orozbaeva Zhyldyzkan Maripovna,**  
*Candidate of Biological Sciences, Associate Professor*  
**DEVELOPMENT OF THE COMPOSITION AND TECHNOLOGY OF MICROCAPSULES  
OF ORGANOSELENIUM COMPOUNDS**

*Центрально-Азиатский международный медицинский университет,  
Манас, Кыргызская Республика*

*Борбор Азия эл аралык медициналык университети,  
Манас, Кыргыз Республикасы*

*Central Asian International Medical University, Manas, Kyrgyz Republic*

**Аннотация.** В данной статье даны биологическая роль селена в организме и распространение в окружающей среде и основные методы микрокапсулирования, включая экструзию, сушку, эмульгирование и ионную гелефикацию, а также описано их применение в различных сферах. Указываются перспективы дальнейших исследований и развития данной технологии, которая обещает улучшить качество и эффективность лекарственных средств, косметических продуктов и пищевых добавок, что, в свою очередь, положительно скажется на здоровье населения. В статье представлены материалы и методы исследования, модельные составы микрокапсул калиевой соли селенистосурьмянистовинной кислоты, приготовление моделей микрокапсул калиевой соли селенистосурьмянистовинной кислоты, описание полученных микрокапсул в массе и в отдельности, описание микрокапсул после сушки, обоснование выбора оптимального модельного состава микрокапсул, состав микрокапсул, технологическая схема производства микрокапсул, по результатам исследования разработано оптимальный состав микрокапсул калиевой соли селенистосурьмянистовинной кислоты и технология микрокапсул методом экстракции и предложена технологическая схема производства.

**Ключевые слова:** глутатионпероксидазы (GPx) и йодтирониндейодиназы, трийодтиронина (Т3), тироксина (Т4), микрокапсулирование, биологически активные вещества, фармацевтика, косметика, стабильность, биодоступность, технологии.

**Аннотация.** Бул макалада селендин организмдеги биологиялык ролу жана анын айлана-чөйрөдө таралышы, микрокапсуляциянын негизги ыкмалары, анын ичинде экструзия, кургатуу, эмульсия жана иондук гелация, ошондой эле алардын ар кандай тармактарда колдонулушу баяндалат. Бул технологияны мындан ары изилдөө жана өнүктүрүү перспективалары белгиленген, бул дары-дармектердин, косметикалык каражаттардын жана диеталык кошулмалардын сапатын жана натыйжалуулугун жогорулатуу эффективдүүлүгүн берет, бул өз кезегинде калктын саламаттыгына оң таасирин тийгизет. Макалада изилдөөнүн материалдары жана методдору, селенсурьмавиндүү кислотасынын калий тузунун микрокапсулаларынын моделдик курамы, моделдерин алуу, алынган микрокапсулалардын дүң жана жекече сүрөттөлүшү берилген, кургаткандан кийин селенсурьмавиндүү кислотасынын калий тузунун микрокапсулаларынын сүрөттөлүшү, микрокапсуланын оптималдуу моделдик курамын тандоонун негиздемеси, микрокапсуланын курамы, микрокапсулаларын алуунун технологи-

ялык схемасы, изилдөөнүн жыйынтыгы боюнча селенсурьмавиндүү кислотасынын калий тузунун микрокапсулаларынын оптималдуу курамы жана экструзия ыкмасын колдонуу менен микрокапсулалардын технологиясы иштелип чыгып, өндүрүштүн технологиялык схемасы сунушталган.

**Негизги сөздөр:** глутатионпероксидаза (GPx) жана йодотирониндиодиназа, трийодтиронин (Т3), тироксин (Т4), микрокапсуляция, биологиялык активдүү заттар, фармацевтика, косметика, туруктуулук, биожеткиликтүүлүк, технология.

**Abstract.** This article presents the biological role of selenium in the body and its distribution in the environment, as well as the main microencapsulation methods, including extrusion, drying, emulsification, and ion gelation, and describes their applications in various fields. Cosmetic research is currently underway to develop these technologies, which guarantee improved quality and effectiveness of medicines, foods, and dietary supplements, which, in turn, positively impacts public health. The article presents the materials and methods of research, model compositions of microcapsules of potassium salt of selenistonimonic acid, preparation of models of microcapsules of potassium salt of selenistonimonic acid, Description of microcapsules in bulk and individually, description of microcapsules after drying, rationale for choosing the correct model composition of microcapsules, composition of microcapsules, A technological scheme for the production of microcapsules was developed based on the results of the study, an optimal composition of microcapsules of potassium salt of selenite-antimonytic acid and a technology for microcapsules using the extrusion method were developed, and a technological scheme for production was proposed.

**Key words:** glutathione peroxidase (GPx) and iodothyronine deiodinase, triiodothyronine (T3), thyroxine (T4), microencapsulation, biologically active substances, pharmaceuticals, cosmetics, stability, bioavailability, technology.

### Введение

Селен является жизненно важным микроэлементом, играющим ключевую роль в различных биологических процессах, включая антиоксидантную защиту, иммунную функцию и регуляцию синтеза гормонов щитовидной железы. В организме человека селен входит в состав селенопротеинов, таких как глутатионпероксидазы (GPx) и йодтирониндейодиназы, которые участвуют в метаболизме тиреоидных гормонов и обеспечивают защиту клеток и тканей от оксидативного стресса. Особенно важен селен для нормального функционирования щитовидной железы, которая содержит больше селена на грамм ткани, чем любой другой орган [1].

Селен необходим для регуляции синтеза тиреоидных гормонов – трийодтиронина (Т3) и тироксина (Т4), а также для защиты щитовидной железы от повреждений, вызванных оксидативным стрессом. Дефицит селена может привести к нарушению активности селено-протеинов, что отрицательно сказывается на функции щитовидной железы и способствует развитию таких заболеваний, как аутоиммунный

тиреоидит и болезнь Грейвса и др. [2]. С учетом глобальной распространенности дефицита селена и его ключевой роли в поддержании здоровья щитовидной железы, изучение воздействия добавок с селеном на заболевания щитовидной железы является актуальной проблемой современной клинической медицины.

Источником селена являются продукты питания, и определяемое в них количество напрямую зависит от его уровня в почве. Средний показатель содержания селена в почве равен 0,4 мг/кг [3]. Это значение не постоянно и зависит от состава почвы, уровня органических веществ и количества осадков, характерных для данной территории [4]. Вода в зависимости от месторасположения в гидросфере содержит разное количество селена. Например, морская вода содержит 4000–12000 мкг на 1 л. В быту население использует водопроводную воду, в которой уровень данного микроэлемента находится на минимальном допустимом уровне, по данным Всемирной организации здравоохранения, и равен 10 мкг/л [5, 6].

Микрокапсулирование - это современная технология, позволяющая заключать биологически активные вещества в микро-

скопические капсулы, что значительно повышает их стабильность, биодоступность и целенаправленность высвобождения. Данная технология находит обширное применение во множестве областей: фармацевтика, косметология, пищевая промышленность, агрономия.

При данном виде инкапсуляции образуются частицы с различными свойствами. Чаще всего встречаются два вида частиц: первая представляет собой моноядерные капсулы (резервуарный метод), которые имеют ядро из капсулируемого вещества, окруженного оболочкой, вторая - агрегаты, в матрицу вещества-носителя которых встроено множество частиц инкапсулируемого вещества (матричный метод).

Материал находящийся внутри капсулы называется «активным компонентом». В качестве данного компонента капсулы могут быть использованы витамины, минеральные вещества, фенольные соединения, пептиды, ненасыщенные жирные кислоты и т.д.

Чаще всего в качестве мембран для микрокапсул используются:

1. производные целлюлозы,
2. природные смолы,
3. синтетические полимеры и олигомеры,
4. парафины и стеарины [7, 8, 9,10].

Микрокапсулирование используется во многих отраслях промышленности, до сих пор ученые продолжают изучать данную методику. Но уже сейчас мы можем точно сказать, что микрокапсулирование биологически активных веществ имеет ряд преимуществ.

1. Стабильность. Многие биологически активные вещества имеют пониженную стабильность и подвержены разрушению под воздействием ультрафиолетового излучения, в присутствии кислорода, а также при колебании температуры. Микрокапсулирование способно защитить БАВ от влияния факторов окружающей среды и продлить сроки хранения.

2. Контроль высвобождения. Микрокапсулирование позволяет регулировать скорость высвобождения БАВ.

3. Биодоступность. Некоторые биологически активные вещества имеют плохую растворимость, это затрудняет их усвоение ор-

ганизмом. Микрокапсулирование способно улучшить растворимость и вследствие чего повышается биодоступность.

4. Направленное воздействие. Микрокапсулирование позволяет создавать системы, способные доставлять биологически активные вещества непосредственно к нужным клеткам и органам, тем самым, минимизируя побочные эффекты [11, 12, 13].

5. Сохранение органолептических свойств. В пищевой промышленности микрокапсулирование позволяет сохранить вкус и запах используемых биологически активных веществ [14, 15, 16].

В данный момент ученые продолжают исследования в области методов микрокапсулирования биологически активных веществ. Наиболее распространенными и изученными методами являются:

1. Экструзия. При использовании данного метода БАВ смешиваются с полимером, после этого смесь проходит через экструдер. При охлаждении образуются микрокапсулы.

2. Сушка. Данный метод включает в себя прием распылительной сушки и лиофилизации. При применении распылительной сушки раствор БАВ распыляется и быстро высыхает, образуя микрокапсулы. Лиофилизация позволяет сохранить активные компоненты без термического воздействия.

3. Эмульгирование. Данный метод заключается в создании эмульсии, в которой один жидкий компонент (например, масло) полностью окружен другим (например, водой), это способствует формированию капсул [16].

4. Ионная гелефикация. Данный метод заключается в использовании ионов для создания геля, в который вводятся биологически активные вещества. После формирования капсул гель твердеет, образуя микрокапсулы.

Микрокапсулирование все еще нуждается в дальнейших изучениях, но, не смотря на это, даже сейчас данный метод активно внедряют в разработки в различных отраслях промышленности.

Технология микрокапсулирования БАВ открывает новые пути в разработках высокоэффективных продуктов в различных отраслях. С каждым годом появляется множество новых исследований и разработок, которые подтверждают перспективность



### Приготовление моделей микрокапсул калиевой соли селенистосурьмянистовинной кислоты

В очищенную воду добавили натрия альгинат, перемешали, затем добавили калиевую соль селенистосурьмянистовинной кислоты и нагревали на водяной бане при 60° С при постоянном перемешивании до образо-

вания розового геля и охлаждали гель при комнатной температуре. Раствор кальция карбоната (кальция хлорида) налили в колбу с магнитом и поставили на магнитную мешалку, при работающей магнитной мешалке в раствор каплями с использованием шприца с иглой добавляли гель калиевой соли селенистосурьмянистовинной кислоты.

**Таблица 2**

#### Описание полученных микрокапсул в массе и в отдельности

Модели	Описание массы микрокапсул	Описание отдельных микрокапсул
1 модель	Масса слипшихся микрокапсул белого цвета с розоватыми точечными вкраплениями.	Микрокапсулы сферической, овальной, цилиндрической формы слипшиеся в общую массу.
2 модель	Масса слипшихся микрокапсул однородного светло-розового цвета	Микрокапсулы сферической, овальной, цилиндрической слипшиеся в отдельные конгломераты с размером до 50,0 мм.
3 модель	Масса микрокапсул однородного светло-розового с меньшей степенью слипания.	Микрокапсулы сферической и овальной формой с «хвостиками», цилиндрической формы слипшиеся в отдельные конгломераты с размером до 30,0 мм.
4 модель	Микрокапсулы с упругой оболочкой в однородной светло-розовой массе	Отдельные микрокапсулы с упругой оболочкой сферической, цилиндрической, овальной формы размером 1,9±0,05 мм
5 модель	Микрокапсулы с упругой оболочкой в однородной светло-розовой массе	Отдельные микрокапсулы с упругой оболочкой сферической, цилиндрической, овальной формы размером 1,8±0,05 мм
6 модель	Микрокапсулы с упругой оболочкой в однородной светло-розовой массе	Отдельные микрокапсулы с упругой оболочкой сферической, цилиндрической, овальной формы размером 1,7±0,05 мм
7 модель	Микрокапсулы с упругой оболочкой в однородной бледно-розовой массе	Отдельные микрокапсулы с упругой оболочкой сферической формы размером 1,6±0,05 мм

**Таблица 3**

#### Описание микрокапсул калиевой соли селенистосурьмянистовинной кислоты после сушки

Модели	Описание микрокапсул
1 модель	Высушенная масса микрокапсул сферической, овальной, цилиндрической формы, белого цвета с розоватыми вкрапинами.
2 модель	Высушенные микрокапсулы сферической, овальной, цилиндрической формы слипшиеся в отдельные конгломераты с размером до 50,0 мм.
3 модель	Высушенные микрокапсулы сферической и овальной формой с «хвостиками», цилиндрической формы слипшиеся в отдельные конгломераты с размером до 30,0 мм.
4 модель	Мелкие светло-розовые микрокапсулы сферической, цилиндрической или овальной формы размером 33±0,01 мкм
5 модель	Мелкие светло-розовые микрокапсулы сферической или цилиндрической формы размером 29±0,01 мкм
6 модель	Мелкие светло-розовые микрокапсулы сферической или овальной формы размером 24±0,01 мкм
7 модель	Мелкие светло-розовые микрокапсулы сферической формы размером 20±0,01 мкм

### Обоснование выбора оптимального модельного состава микрокапсул калиевой соли селенистосурьмянистовинной кислоты

Описание в массе и отдельных микрокапсул 1, 2 и 3 моделей показало, что образовались микрокапсулы сферической, овальной и цилиндрической форм светло-розового цвета, слипшиеся в конгломераты размером до 30,0-50,0 мм, что показывает применение раствора кальция карбоната не обеспечивает достаточно крепкую связь ионов кальция с альгинатом, чем объясняется слипание капсул в общую массу или в конгломераты в большей или в меньшей степени.

Описание в массе и отдельных микрокапсул 4,5 и 6 моделей показало, что образовались микрокапсулы размером от  $0,9 \pm 0,01$  мм до  $0,7 \pm 0,01$  мм сферической, цилиндрической и овальной формы светло-розового цвета с упругой оболочкой в однородной светло-розовой массе.

Микрокапсулы 7 модели сферической формы размером от  $0,6 \pm 0,01$  мм в бледно-розовой массе и после высушивания тоже получились самые лучшие микрокапсулы 7 модели: мелкие светло-розовые микрокапсулы сферической формы размером  $20 \pm 0,01$  мкм (Таблица 1,2,3).

Таблица 4

Состав микрокапсул калиевой соли селенистосурьмянистовинной кислоты

Ингредиенты	Количество
Состав геля калиевой соли селенистосурьмянистовинной кислоты	
Калиевая соль селенистосурьмянистовинной кислоты	0,75
Натрия альгинат	2,0
Вода очищенная	до 100 мл
Состав раствора кальция хлорида	
Кальция хлорид	1,0
Вода очищенная	до 100 мл

### Технологическая схема производства микрокапсул селенистосурьмянистовинной кислоты



Рисунок 1. Технологическая схема производства микрокапсул селенистосурьмянистовинной кислоты

### Технологическая схема производства микрокапсул селенистосурьмянистовинной кислоты



Рисунок 2. Технологическая схема производства микрокапсул селенистосурьмянистовинной кислоты

#### Выводы

1. Разработан оптимальный состав микрокапсул калиевой соли селенистосурьмянистовинной кислоты:

Состав геля		Состав раствора кальция хлорида	
Калиевая соль селенистосурьмянистовинной кислоты	0,75	Кальция хлорид	1,0
Натрия альгинат	2,0	Вода очищенная	до 100 мл
Вода очищенная	до 100 мл		

2. Разработана технология микрокапсул калиевой соли селенистосурьмянистовинной кислоты методом экстраузии и предложена технологическая схема производства.

#### Список литературы:

- Valea A, Georgescu ce. Selenoproteins in human body: focus on thy- roid pathophysiology. *Hormones* (Athens) 2018;17(2):183-96. DOI: 10.1007/s42000-018-0033-5
- Santos Lr, neves c, Melo M, Soares P. Selenium and Selenoproteins in Immune Mediated Thy- roid disorders. *Diagnostics* (Basel) 2018;8(4):70. DOI: 10.3390/diagnostics8040070
- Hartikainen H. Biogeochemistry of selenium and its impact on food chain quality and human health. *J Trace Elem Med Biol.*, 2005, vol. 18(4), pp. 309–318. DOI: 10.1016/j.jtemb.2005.02.009.
- Sors T.G., Ellis D.R., Na G.N. Et al. Analysis of sulfur and selenium assimilation in *Astragalus* plants with varying capacities to accumulate selenium. *Plant J.*, 2005, vol. 42(6), pp. 785–797. DOI: 10.1111/j.1365-313X.2005.02413.x.

5. Шестакова Т.П. Использование селена в медицинской практике // Русский медицинский журнал. 2017. № 22(25). С. 1654–1659.
6. Mehdi Y, Hornick J.L., Istasse L., Dufrasne I. Selenium in the environment, metabolism and involvement in body functions. *Molecules*, 2013, vol. 18(3), pp. 3292–3311. DOI: 10.3390/molecules18033292.
7. Nedovich V. Overview of encapsulation technologies for food applications // *Procedia Food Science*. - 2011. - No. 1. - P. 1806-1815. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.profoo.2011.09.265>;
8. Zuidam N.J. Review of microcapsules for use in food products or processes and methods of their production / N.J. Zuidam, E. Simoni // *Encapsulation Technologies for Active Food Ingredients and Food Processing*. - 2009. - P. 3-29;
9. Carneiro H.K.F. Efficiency of encapsulation and oxidative stability of microencapsulated flaxseed oil obtained by spray drying using different combinations of wall materials // *Journal of Food Engineering*. - 2013. - No. 115 (4). - P. 443451;
10. Fang Z. Encapsulation of polyphenols — a review // *Trends in Food Science and Technology*. - 2010. - No. 21 (10). - P. 510-523 Koval K.P.
11. Жариков Г.А., Марченко А.И., Крайнова О.А., Дядищева В.П., Челпых Л.В. Разработка и полевые испытания технологии биоремедиации территорий предприятий, загрязненных токсичными химическими веществами, подготовка нормативно-технической документации // *Медицина экстремальных ситуаций*. 2019. №2. [Электронный ресурс] URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-i-polevyie-ispytaniya-tehnologii-bioremediatsii-territoriy-predpriyatij-zagryaznennyh-toksichnymi-himicheskimi>;
12. Карпун Н.Н., Игнатова Е.А., Янушевская Э.Б., Леонов Н. Н. Эволюция химического метода защиты растений от вредных организмов в условиях влажных субтропиков России и Экобезопасность // *С.-х. биол.* 2014. №3. [Электронный ресурс] URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/evolyutsiya-himicheskogo-metoda-zaschity-rasteniy-ot-vrednyh-organizmov-v-usloviyah-vlazhnyh-subtropikov-rossii-i-ekobezopasnost> (дата обращения: 25.12.2024);
13. Смирнова О.Д., Паламарчук К.В., Калашникова И.В., Бокарева Д.А., Влияние наночастиц и металлополимерных нанокомпозитов в среде на рост микромицетов // *Медицина экстремальных ситуаций*. 2019. № Спецвыпуск 1. [Электронный ресурс] URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-nanochastits-i-metallopolimernyh-nanokompozitov-v-srede-na-rost-mikromitsetov> (дата обращения: 07.01.2025);
14. Муродова С.Г.К. Антиоксидантные свойства порошковых продуктов и их применение в пищевой промышленности // *Universum: технические науки*. 2024. №9 (126). [Электронный ресурс] URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/antioksidantnye-svoystva-poroshkovyh-produktov-i-ih-primenenie-v-pischevoju-promyshlennosti> (дата обращения: 07.01.2025);
15. Сеин О.Б., Керимов К.Б. Морфометрические показатели стенки кишечника у морских свинок, получавших микрокапсулированный пробиотик // *Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии*. 2023. №2. [Электронный ресурс] URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/morfometricheskie-pokazateli-stenki-kishechnika-u-morskih-svinok-poluchavshih-mikrokapsulirovannuu-probiotik> (дата обращения: 09.12.2024);
16. Грехнёва Е.В., Белоконь В.Л., Орлова С.В. Микрокапсулирование биологически активных веществ в водонерастворимые полимеры // *Auditorium*. 2016. №2 (10). [Электронный ресурс] URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/mikrokapsulirovanie-biologicheskii-aktivnyh-veschestv-v-vodonerastvorimye-polimery> (дата обращения: 07.01.2025);

УДК 622.33

**Садыков Эркинбай<sup>1</sup>,**  
*кандидат технических наук, доцент*  
**Токтоназаров Сыдыкбек Токтоназарович<sup>2</sup>,**  
*старший научный сотрудник*  
**Омуров Жетимиш Кочунович<sup>2</sup>,**  
*научный сотрудник*  
**Анарбай кызы Сажид<sup>2</sup>,**  
*научный сотрудник*

#### СОЗДАНИЕ УСТРОЙСТВА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ПОЛУКОКСА

**Садыков Эркинбай<sup>1</sup>,**  
*техника илиминин кандидаты, доцент*  
**Токтоназаров Сыдыкбек Токтоназарович<sup>2</sup>,**  
*улук илимий кызматкер*  
**Омуров Жетимиш Кочунович<sup>2</sup>,**  
*илимий кызматкер*  
**Анарбай кызы Сажид<sup>2</sup>,**  
*илимий кызматкер*

#### ЖАРЫМ КОКСТУ АЛУУЧУ ТҮЗҮЛҮШТҮ ТҮЗҮҮ

**Sadykov Erkinbai<sup>1</sup>,**  
*PhD, Associate Professor*  
**Toktonazarov Sydykbek Toktonazarovich<sup>2</sup>,**  
*senior research fellow*  
**Omurov Zhetimish Kochunovich<sup>2</sup>,**  
*research fellow*  
**Anarbay kyzy Sazhida<sup>2</sup>,**  
*research fellow*

#### CREATION OF A DEVICE FOR PRODUCING SEMI-COKE

<sup>1</sup>*Ошский государственный университет, Ош, Кыргызская Республика*

<sup>2</sup>*Институт природных ресурсов им. А.С. Джаманбаева ЮО НАН КР ПКР, Ош, Кыргызская Республика*

<sup>1</sup>*Ош мамлекеттик университети, Ош, Кыргыз Республикасы*

<sup>2</sup>*КР ПК УИА ТБ А.С. Джаманбаев ат. Жаратылыш байлыктары институту, Ош, Кыргыз Республикасы*

<sup>1</sup>*Osh State University, Osh, Kyrgyz Republic*

<sup>2</sup>*Institute of Natural Resources named after A.S. Dzhamanbaev SB NAS KR PKR, Osh, the Kyrgyz Republic*

**Аннотация.** Бул макалада даяр продукцияны жарым кокс кабыл алуучу түзүлүшкө түшүрүү механизмин жакшыртуу талкууланат. Жарым кокс өндүрүүчү түзүлүш каралат. Учурдагы түзүлүштөрдө даяр продукцияны (жарым кокс) түшүрүү кол менен жүргүзүлөт, бул көп эмгекти талап кылган процесс. Бул макаланын максаты - даяр продукцияны жарым кокс кабыл алуучу түзүлүшкө түшүрүүнү тездетүү. Бул үчүн кабыл алуучу түзүлүштүн түбүндө даяр

продукцияны түшүрүү үчүн өзүн-өзү агыза турган терезе каралган. Өзүн-өзү агыза турган терезе жарым кокс кабыл алуучу түзүлүштөгү бекитилген жетектөөчү түзүлүшкө орнотулат. Даяр продукцияны түшүрүү үчүн жетектөөчү түзүлүшкө орнотулган өзүн-өзү агыза турган терезе көтөрүлүшү керек, ошондон кийин түшүрүү процесси башталат.

Жарым кокс кабыл алуучу түзүлүштөн алынган продукциялар Республиканын жылуулук энергетика тармагында колдонууга арналган.

**Негизги сөздөр:** жарым коксту алуучу түзүлүш, түшүрүүчү механизм, көмүр, жарым кокс, багыттоочу, төгүүчү терезе.

**Аннотация.** В данной статье рассматривается усовершенствование механизма выгрузки готовой продукции в приемное устройство полукокса. Рассматривается устройство для полчения полукокса. В конструкциях известных устройств для выгрузки готовой продукции - полукокса осуществляется вручную, что является трудоемким процессом.

Целью статьи является ускорение выгрузки готовой продукции в приемное устройство полукокса, для этого в нижней части приемного устройства предусмотрено самосливное окно для выгрузки готовой продукции. Саморазгрузочное окно установлено в приёмном устройстве полукокса в неподвижном направляющем устройстве. Для выгрузки готового продукта саморазгрузочное окно, установленное в направляющем устройстве, необходимо поднять вверх, и в этот момент начинается процесс выгрузки.

Продукция из приёмного устройства полукокса предназначена для использования в теплоэнергетическом секторе Республики.

**Ключевые слова:** устройства для получения полукокса, разгрузочный механизм, уголь, полукокс, направляющий, самосливное окно.

**Abstract.** This article discusses an improvement to the mechanism for unloading finished products into a semi-coke receiving device. A device for producing semi-coke is considered. In existing devices, unloading finished products (semi-coke) is done manually, which is a labor-intensive process.

The purpose of this article is to expedite the unloading of finished products into the semi-coke receiving device. To achieve this, a self-draining window for unloading finished products is provided at the bottom of the receiving device. The self-draining window is installed in a fixed guide device in the semi-coke receiving device. To unload the finished product, the self-draining window, installed in the guide device, must be lifted, at which point the unloading process begins.

The products from the semi-coke receiving device are intended for use in the thermal power sector of the Republic.

**Keywords:** devices for producing semi-coke, unloading mechanism, coal, semi-coke, guide, self-draining window.

В Кыргызской Республике имеются значительные объемы угольных объектов резко отличающихся друг от друга. Общие ресурсы угля составляют более 6 млрд.т и могут составить более 60% части топливно-энергетического комплекса Республики. Из них на долю энергетических комплекса приходится 70% [1].

В соответствии с оптимальной структурой топливно-энергетического баланса востребованные объёмы добычи угля по стране составят до 2,5 млн.т в 2015 г. и до 5,1 млн.т в 2025 г.[2].

Удовлетворение потребности экономики страны в угольном топливе будет связано с

развитием добычи угля в бассейнах южного региона республики - Узгенского, Южно-Ферганского и Алайского [2].

В процессе исследования низкосортных углей Кыргызстана представляет собой наибольший интерес вопрос повышения основных свойств низкосортных углей. Для этого большинство исследователей применяют процесс коксования, который проходит в специальных установках. В установках для получения кокса твердые топлива полностью превращаются в кокс или полукокс, при этом из состава угля улетучиваются неметаллические вещества. Для этих целей в Институте природных

ресурсов (ИПР) им. А.С. Джаманбаева Южного отделения (ЮО) НАН КР разработана усовершенствованная конструкция устройства для получения полукокса. Она проста по конструкции, но эффективна в работе по сравнению с известными конструкциями. Эффективность данного устройства заключается в улучшении основных свойств низкосортных углей и повышении производительности получаемого продукта. В известных конструкциях устройств для получения полукокса газ, получаемый из угля, низкокалорийный, для повышения калорийности, которого необходимо изменить конструкцию устройства для получения полукокса.

Известно, что, в процессе выработки полезных ископаемых и их дальнейшей переработки возникает острый вопрос - улучшение окружающей среды и добиться импортозамещаемости продукта (полукокс и газ). В настоящей статье предлагается технология переработки низкосортных углей Южного региона Кыргызстана путем коксования угля в устройстве для получения полукокса. В результате применяемой технологии переработки угля, получаемые продукты из низкосортных углей представляют экологически чистых технологий в процессе переработки угля и решения такой проблемы является *актуальной* задачей. Кроме того, в процессе коксования угля появляется возможность сократить дополнительных расходов при использовании мазута и природного газа для сжигания факела, тем самым повышается мощность производителей теплоэнергетической отрасли, исключаются дополнительные затраты на перевозку.

Целью данной статьи является создание устройства для получения полукокса и газа из низкосортных углей Южного региона Кыргызстана и получение экологически чистых продуктов в процессе переработки угля.

Задачами исследования являются изучения принципа работы, устройства, отличие созданной усовершенствованной конструкции устройства для получения полукокса от ранее известных установок и решение экологических вопросов в процессе коксования угля.

Угли, будучи горючей породой осадочно-растительного происхождения, всегда содержат негорючие минеральные примеси 35-50%, которые составляют в угле, зольность топлива. Процессы многих технологий использования углей требуют по возможности более чистых угольных концентратов. Это достигается путем коксования [3].

Для улучшения основных свойств низкосортных углей широко применяются коксование, которое на практике осуществляются с помощью устройств для коксования.

В данной статье рассматриваются разработанные в последнее время технологии переработки угля российских ученых, которые внедрили новые технологии, основанные на автотермическом принципе нагрева угля в неподвижном слое путем создания обратной тепловой волны в пиролизере-генераторе [4, 5]. По данной отрасли науки велись исследовательские работы под руководством известными Кыргызскими учеными Текенова Ж.Т., Джаманбаева А.С. и др. [6, 7], а также известны научные разработки Асанова А.А. [8, 9] по технологии переработки полезных ископаемых при помощи пиролизных установок с различными вариантами исполнения и в работе [10, 11] приведена экспериментальная пиролизная установка производящая облагораживание низкосортных углей Южного региона Кыргызстана.

Из выше рассмотренных пиролизных установок в качестве прототипа выбрана пиролизная установка, представленная в работе [12], к этой установке присущи следующие недостатки, которые нуждаются в доработке:

- газ, получаемый из угля низкокалорийный, для повышения калорийности получаемого газа место воздушного дутья переходит на паровоздушное;
- рассматриваемая конструкция установки нетранспортабельна, а для перемещения ее на новое место потребуются дополнительные расходы;
- по сравнению с другими видами рассматривая пиролизная установка малопродуктивна.

Для исключения выше отмеченных недостатков рассмотренной работы сотрудниками лаборатории «Газификация угля» ИПР ЮО НАН КР разработана усовершенствованная конструкция устройства для коксования, для переработки низкосортных углей южного региона Кыргызстана (рис. 1).

Отличительные черты *созданной конструкции устройства для коксования:*

- разработанная конструкция устройства для коксования позволяет повышать производительность данного оборудования,



а.

- для чего воздушное дутье заменено на паровоздушное дутье;

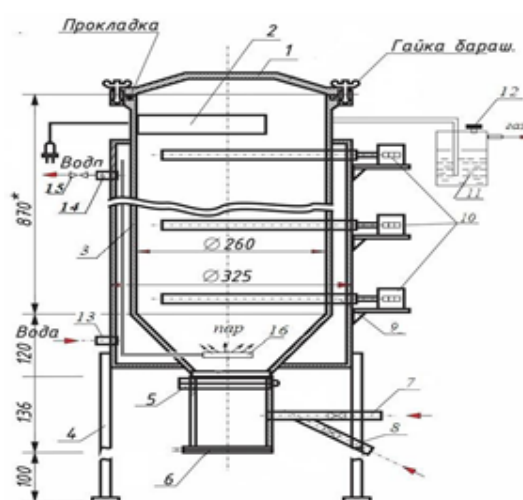
- улучшен процесс съема готовой продукции;

- разрешен вопрос экологии окружающей среды при переработке низкосортных углей Кыргызстана в процессе коксования;

- разработанная конструкция устройства для коксования транспортабельная, имеет малый вес и стоимость;

- она проста по конструктивному исполнению и удобно в эксплуатации;

- процесс газификации осуществляются розжигом угля сверху вниз.



б.

Рис.1.Общий вид созданного устройства для коксования: а–натурный образец устройства для коксования; б–кинематическая схема: 1–крышка устройства для коксования, 2–устройства для розжига, 3 – двухслойный корпус устройства для коксования, 4 – рама устройства для коксования с водяной рубашкой, 5 – колесник, 6 – съемник готовой продукции, 7 – патрубок воздушного дутья, 8 – патрубок для подачи газа, 9 – патрубок для термодатчика, 10–цифровой термодатчик, 11–водный затвор, 12–крышка водяного затвора, 13,14 –вход и выход воды, 15 – регулировочный кран водяного пара, 16 патрубок водяного пара.

Устройство созданной для коксования. Верхняя часть устройства для коксования снабжена крышкой 1, она закрепляется гайкой-барашком к двухслойному корпусу устройства для коксования 3. Внутри верхней части двухслойного корпуса устройства для коксования 3 приварено устройство для розжига 2 исследуемого угля, а для обеспечения жесткости двух слойного корпуса устройства для коксования приварена рама устройства для коксования 4 с водяной рубашкой.

Нижняя часть устройства для коксования снабжена колесником 5, съемником готовой продукции 6, для подачи воздуха в корпус 3 устройства для коксования приварены патрубки воздушного дутья 7 и подачи газа 8. В правой боковой части двухслойного корпуса устройства для коксования в трехсимметричных отверстиях установлены три термодатчики 9 на специальном патрубке, а для снятия температуры показаний термодатчиков 9 во внутренней части двухслойного корпуса устройства

для коксования размещены цифровые термодатчики 10. В процессе работы устройства для коксования для уменьшения выхода летучих веществ в окружающую среду двухслойный корпус снабжена водным затвором 11 и крышкой водяного затвора 12.

В правой боковой части установки приварены верхняя и нижняя часть двухслойного корпуса, расположены патрубки для входа 13 и выхода воды 14 в процессе коксования, на выходном патрубке размещен регулировочный кран водяного пара 15 и выходящие пары воды поступают к патрубку водяного пара, с помощью которого обеспечивается паровоздушное дутье устройства для коксования.

*Принцип работы, созданного устройства для коксования.* Для запуска работы созданной конструкции устройства для коксования сперва открывают крышку 1 и корпус устройства для коксования 3 заполняют исследуемой маркой углем до устройства для розжига угля, после чего двухслойный корпус устройства для коксования 3 заполняются водой, которая обеспечивает процесс коксования необходимым количеством пара 16 и далее в левой боковой части к корпусу устройства для коксования устанавливают измерителей температуры цифровых термодатчиков 10, а в нижней части корпуса устройства для коксования съемнику готовой продукции 6 размещает компрессор для подачи воздуха. После подготовительных, проверочных работ подключают к электричеству термодатчиков, устройства для розжига угля и компрессора подачи воздуха и установка готова к работе.

Процесс коксования угля проводится в трех ступенях: ступень сушки, пиролиза и окисления летучих веществ. Результатом теоретических исследований является получения окончательного продукта в виде полукокса и газа. При достижении температуры до 350°C исследуемых углях начинается процесс выделения смолистых веществ из состава угля, когда температура достигается до 350-550°C начинается первичный процесс коксования и она сопровождается увеличением выхода углекислого CO<sub>2</sub> газа и оксидов неметаллов, кроме того из угля также выделяется гомологический ряд метановых газов. При температуре 550-850°C в устройстве для коксования происходит процесс коксования и начинается горение выходных газов из угля до окончания процесса.

#### **Выводы**

Таким образом, процесс коксования в созданной конструкции устройства для коксования происходит тремя ступенями, которые объединены водной установкой, готовыми продуктами устройства для коксования являются полученный полукокс и газ для применения в теплоэнергетической отрасли.

1. Разработана усовершенствованная конструкция устройства для коксования для получения полукокса и газа из низкосортных углей южного региона Кыргызстана.

2. Изучен принцип работы, устройство, отличие созданной конструкции устройства для коксования от ранее известного прототипа;

3. Представлены отличительные черты созданной конструкции устройства для коксования по сравнению с прототипом.

4. Предложена экологически чистая технология для переработки низкосортных углей южного региона Кыргызстана.

#### **Список литературы:**

1. Камчыбеков Д.К. Угольная промышленность Кыргызстана: пути развития и перспективы реорганизации / Д.К.Камчыбеков.
2. «Бийиктик», г.Бишкек, 2011. – 314 с.
3. Солпуев Т.С. Угольные месторождения Кыргызской Республики. Бишкек, 1996. - 512 с.
4. Асанов А.А. Энергоэффективное использование углей Кыргызстана [Текст] /А.А. Асанов. - Б.: Изд. «Инсанат», 2018. - 298 с.
5. Исламов С.Р. Энерготехнологическая переработка угля [Текст] / С.Р. Исламов. - Красноярск, 2010. - 224 с.

6. Степанов С.Г. Технология совместного производства полукокса и горючего газа из угля [Текст] / С.Г. Степанов, А.Б.Морозов, С.Р.Исламов// Уголь.-2002. -№6. - С. 27-29.
7. Текенов Ж.Т.Брикетирование углей Киргизии[Текст]:/А.С. Джаманбаев, Ж.Т. Текенов, А.Ш. Баймендиева. - Бишкек: Илим, 1991. -124 с.
8. Джаманбаев А.С. Угли Киргизии и пути их рационального использования [Текст]: /А.С.Джаманбаев. - Фрунзе: Илим, 1983. - 150 с.
9. Асанов А.А. Развитие современных угольных технологий в Кыргызстане [Текст] / А.А. Асанов, К.К. Орозов / Горный журнал(Россия).-М.:МГСУ, №6. 2016. - С.61- 65.
10. Шайдуллаев Р.Б. Технологический комплекс для угольной генерации энергии [Текст] /А.А. Асанов, Р.Б. Шайдуллаев, К.К.Орозов, Д.Ч.Чалыбеков/ /Интерстроймех -2018: Международной научно-технической конференции. - М.: МИСИ-МГСУ, 2018. - С. 14-18.
11. Шайдуллаев Р.Б. Определение основных параметров экспериментальной шаровой мельницы [Текст] / Р.Б. Шайдуллаев, Т.С. Абдыкадыров, С.Н. Касымбеков, Н.Ж. Арзиев // Наука. Образование. Техника. - Ош: КУУ, 2020.- №1. - С. 34-39.
12. Шайдуллаев Р.Б. Пиролизная установка [Текст] / Р.Б. Шайдуллаев, Н.Ж.Арзиев, И.Э.Исаев//Наука.Образование. Техника. - Ош: КУУ, 2020. - №2. - С. 14-19.
13. Исламов С.Р. Энерготехнологическая переработка угля [Текст] / С.Р. Исламов. - Красноярск, 2010. - 224 с.

УДК631.82:642. 831.322

**Сулейменова Мария Шаяхметовна<sup>1</sup>,**

*кандидат химических наук, доцент*

**Джапарова Шакархон<sup>2</sup>,**

*кандидат химических наук, доцент*

**Дауметова Салтанат Турмаганбет кызы<sup>1</sup>,**

*докторант*

**Жетенова Мадина Сериковна<sup>1</sup>,**

*докторант*

**Кушбакова Гулнура Турсунбаевна<sup>2</sup>,**

*научный сотрудник*

**РАЗРАБОТКА ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНЫХ БИОПРЕПАРАТОВ ДЛЯ СОХРАНЕНИЯ  
УСТОЙЧИВОСТИ ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ**

**Сулейменова Мария Шаяхметовна<sup>1</sup>,**

*химия илиминин кандидаты, доцент*

**Джапарова Шакархон<sup>2</sup>,**

*химия илиминин кандидаты, доцент*

**Дауметова Салтанат Турмаганбет кызы<sup>1</sup>,**

*докторант*

**Жетенова Мадина Сериковна<sup>1</sup>,**

*докторант*

**Кушбакова Гулнура Турсунбаевна<sup>2</sup>,**

*илимий кызматкер*

**ЖАРАТЫЛЫШ РЕСУРСТАРЫНЫН ТУРУКТУУЛУГУН САКТОО УЧУН ЭКОЛОГИЯЛЫК  
КООПСУЗ БИОЛОГИЯЛЫК ПРЕПАРАТТАРДЫ ИШТЕП ЧЫГУУ**

**Suleimenova Maria Shayakhmetovna<sup>1</sup>,**

*Ph.D, Associate Professor*

**JaparovaShakarhon<sup>2</sup>,**

*Ph.D Associate Professor*

**Daumetova Saltanat Turmaganbet kyzy<sup>1</sup>,**

*doctoral student*

**Zhetenova Madina Serikovna<sup>1</sup>,**

*doctoral student*

**Kushbakova G.T.<sup>2</sup>,**

*researcher*

**DEVELOPMENT OF ENVIRONMENTALLY FRIENDLY BIOPREPARATIONS FOR PRESERVING  
THE SUSTAINABILITY OF NATURAL RESOURCES**

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

<sup>2</sup>Ошский технологический университет им. М.М. Адышева, Ош, Кыргызская Республика

<sup>3</sup>Институт природных ресурсов им. А.С. Джаманбаева ЮО НАН КР ПКР, Ош, Кыргызская Республика

<sup>1</sup>Алматы технологиялык университети, Алмата, Казахстан Республикасы

<sup>2</sup>М.М. Адышев ат. Ош технологиялык университети, Ош, Кыргыз Республикасы

<sup>3</sup>КРП КР УИА ТБ А.С. Джаманбаев ат. Жаратылыш байлыктары институту,  
Ош, Кыргыз Республикасы

<sup>1</sup>Almaty Technological University, Almaty, Republic of Kazakhstan

<sup>2</sup>Osh Technological University named after M.M. Adysheva, Osh, Kyrgyz Republic

<sup>3</sup>Institute of Natural Resources named after A.S. Dzhamanbaev SB NAS KR PKR,  
Osh, Kyrgyz Republic

**Аннотация.** В статье представлены данные об инновационном биопрепарате, содержащий гуминовые комплексы, минеральные компоненты и биологически активные добавки. Установлено, что благодаря своему уникальному составу, биопрепарат способствует улучшению агрофизических свойств почвы, включая структурную организацию, водоудерживающую способность и стабильность плотности. Особое внимание уделено минеральной составляющей биопрепарата - аморфному диоксиду кремния, улучшающей структуру и циркуляцию минеральных веществ в почве.

**Ключевые слова:** природные ресурсы, экология, биопрепарат, почва, влажность, плотность, гуминовые вещества, диоксид кремния.

**Аннотация.** Бул макалада гуминдик комплекстерди, минералдык компоненттерди жана биологиялык активдүү кошулмаларды камтыган инновациялык биопрепараттар жөнүндө маалыматтар берилген. Биопрепарат өзүнүн уникалдуу составынан улам кыртыштын агрофизикалык касиеттерин, анын ичинде структуралык түзүлүшүн, сууну кармоо жөндөмдүүлүгүн жана тыгыздыгынын туруктуулугун жакшыртаары аныкталган. Биопрепараттын минералдык компонентине — аморфтук кремний диоксидине өзгөчө көңүл бурулат, ал кыртыштагы минералдардын структурасын жана циркуляциясын жакшыртат.

**Негизги сөздөр:** жаратылыш ресурстары, экология, биопрепарат, топурак, нымдуулук, тыгыздык, гуминдик заттар, кремний диоксиди.

**Annotation.** The article presents data on an innovative biopreparation containing humic complexes, mineral components and biologically active additives. It has been established that due to its unique composition, the biological product improves the agrophysical properties of the soil, including structural organization, water retention capacity and density stability. Special attention is paid to the mineral component of the biological product – amorphous silicon dioxide, which improves the structure and circulation of minerals in the soil.

**Keywords:** natural resources, ecology, biological product, soil, humidity, density, humic substances, silicon dioxide.

## Введение

Негативное воздействие человека на природную среду проявляется не только в утрате биологического разнообразия и устойчивости экосистем, но и в значительном снижении продуктивности природных и антропогенных ландшафтов из-за утраты плодородия почв в результате прогрессирующих процессов их деградации (эрозия, дефляция, дегумификация, уплотнение, засоление и др.).

В условиях изменения климата и дефицита природных ресурсов отказ от чрезмерного применения химических средств в пользу экологически безопасных решений приобретает глобальный характер. В связи с этим устойчивое управление природными ресурсами является ключевой задачей XXI

века, и биопрепараты становятся частью глобального научного ответа.

Актуальность разработки инновационных биопрепаратов для сохранения устойчивости природных ресурсов связана с высокой научной и практической значимостью.

Научная новизна исследования заключается в сочетании экологических и химико-технологических подходов для создания устойчивых решений в сфере охраны окружающей среды.

Практическая востребованность биопрепаратов связана со снижением нагрузки на экосистемы за счет сокращения использования пестицидов и минеральных удобрений. По прогнозам, мировой рынок регенеративного земледелия, включающий биопрепараты, вырастет более чем в 3 раза к 2031 году.

Инновационность технологии нашего биопрепарата заключается в использовании альтернативного сырья (сапрпель и бурый уголь) и отходов производства агропромышленного комплекса (зола рисовой шелухи, жмых подсолнечника, костная мука), обогащающих конечный продукт жирными органическими кислотами, незаменимыми аминокислотами и рядом макро- и микроэлементов в усвояемой форме.

В связи с этим исследования по разработке экологически безопасных биопрепаратов, способных восстанавливать структуру почвы, повышать её биологическую активность и снижать техногенную нагрузку на окружающую среду актуальны и востребованы.

#### **Объекты и методы исследования.**

Почвенные образцы отбирались в области Жетысу, Кербулакском районе в ТОО «Кызылшоқы» (Казахстан). Биопрепарат, разработанный авторским коллективом ученых Алматинского технологического университета.

Для исследования физических свойств почвы использовались следующие физико-химические методы анализа:

определения влажности почвы

- гравиметрический метод: основан на высушивании образца почвы до постоянной массы при температуре 105°C. Разница в массе до и после сушки показывает содержание влаги.

определение плотности почвы

- метод цилиндра: используется металлический цилиндр известного объема, которым вырезают образец почвы, после высушивания определяется масса, и рассчитывается плотность.

- пикнометрический метод: применяется для определения плотности твердых частиц почвы с использованием пикнометра и жидкости известной плотности.

**Обсуждение и результаты.** В отличие от традиционных средств, предназначенных для повышения устойчивости природных ресурсов, разработанный биопрепарат относится к «зеленой» продукции, поскольку состоит только из природных компонентов: гуминовых веществ (органическая составляющая), минеральных компонентов (макро- и микроэлементы) и биологически активных

добавок (микробиота и ферменты). Такой мультифункциональный состав позволяет одновременно улучшать структуру почвы, стимулировать рост растений и снижать техногенную нагрузку на окружающую среду [1].

В данной работе представлены результаты исследования влияния разработанного биопрепарата на физические свойства почвы.

В качестве минеральной составляющей наш биопрепарат содержит аморфный диоксид кремния, полученный из золы рисовой шелухи. В ряде отечественных и зарубежных работ отмечается особое значение аморфного диоксида кремния в формировании различных агрохимических и агрофизических свойств почвы, а также в контроле многих геохимических и почвенных процессов [2-3].

Стабильность влажности и плотности в почве – это показатели, отражающие, способность почвы удерживать влагу и устойчивость ее к сжатию или разрыхлению. Высокая стабильность влажности обеспечивает постоянный источник воды для растений, а оптимальная плотность хорошую аэрацию и проникновение корней [1, 4-5].

Степень и направление влияния биопрепаратов, выполняющих функции почвенных мелиорантов агрофизические свойства почвы зависят от их способности связывать частицы почвы и улучшать структуру почвы [1].

При этом повышаются агрегативная влагоемкость, обменная и буферная способность легких почв. Общие физические свойства включают плотность почвы и пористость. Объемная масса почвы характеризует массу единицы объема абсолютно сухой пробы почвы, взятой в ненарушенном поле. Насыпная плотность 1,5 г/см<sup>3</sup> и более свидетельствует о чрезмерной плотности почвы, что создает неблагоприятные условия для растений. Для большинства культурных растений оптимальная плотность полевого горизонта составляет 1,0-1,2 г/см<sup>3</sup> [1, 6].

Оценки плотности верхнего слоя почвы приведены в таблице 1.

Влажность почвы, обработанной биопрепаратом, определяли относительно контроля (почвы без обработки биопрепаратом). Значительное количество влаги в верхнем

горизонте объясняется накоплением влаги в плотном плодородном слое почвы и обильной подстилкой растений, что снижает про-

цесс испарения. Уменьшение влажности почвы связано с тем, что влага не сохраняется в плотных каменисто-гравийных породах и происходит процесс фильтрации [1].

**Таблица 1 – Оценка плотности грунта**

Плотность, г/см <sup>3</sup>	Оценка	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Оценка
<1,0	Почва рыхлая или богатая органическими веществами	1,3 – 1,4	Почва очень уплотненная
1,0 – 1,1	Свежевспаханная почва	1,4 – 1,6	Типичные значения орошаемых горизонтов (кроме чернозема)

Результаты исследования влажности почвы, обработанного биопрепаратом и контроля, представлены на диаграммах 1-2. Процент влажности почвы контрольного варианта составляет 21,1% на глубине 0-20 см; 12,9% на глубине 20-31 см; 7,6% на глубине 31-62 см; 26,1% на глубине 62-85 см; 20,3% на глубине 85-92 см. Следует отметить, что снижение влажности почвы в некоторых слоях происходит при содержании каменистых и щебнистых плотных пород, где влага

не удерживается и происходит процесс фильтрации [4-5].

Влажность почвы, обработанной биопрепаратом, составляет 26% на глубине 0-20 см; 23,7% на глубине - 0-31 см; 15,2% на глубине - 31-62 см; 12,9% на глубине - 62-85 см; 12,1% на глубине - 85-92 см. Значительное наличие почвенной влаги в верхних слоях объясняется накоплением влаги в плотном плодородном слое почвы и обильной подстилкой растений, что снижает процесс испарения [1].



Диаграмма1 - Влажность почвы (контроль)



Диаграмма 2 - Влажность почвы, обработанный биопрепаратом.

Для анализа плотности почвы определили объемную массу. На диаграмме 3 представлены результаты изменения объемной массы почвы контрольного образца в за-

висимости от глубины почвенного слоя. В верхнем слое составляет объемная масса составляет  $1,17 \text{ г/см}^3$ , а в нижнем слое от 10 до 50 см наблюдается постепенное уплотнение почвы – от  $1,22$  до  $1,39 \text{ г/см}^3$ .

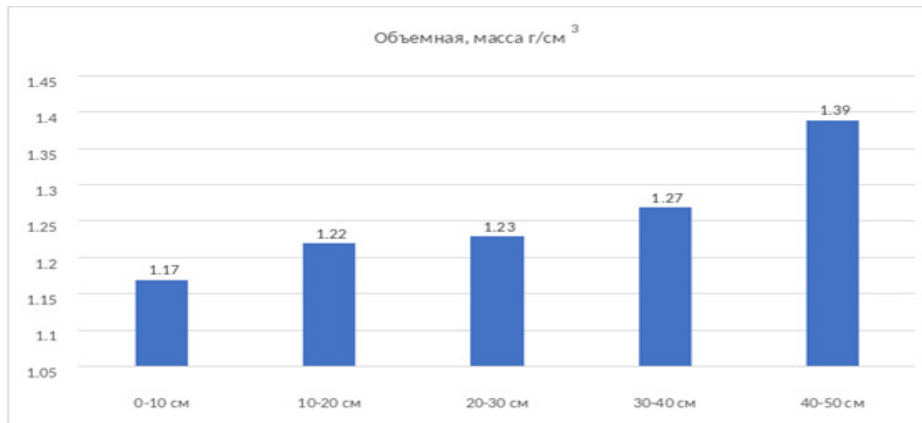


Диаграмма 3 – Объемная масса почвы (контроль).

Для сравнения исследовали почву, обработанную биопрепаратом, объемная масса в

верхнем горизонте составляет  $0,9 \text{ г/см}^3$ , а в нижних -  $1,2 \text{ г/см}^3$  (диаграмма 4).

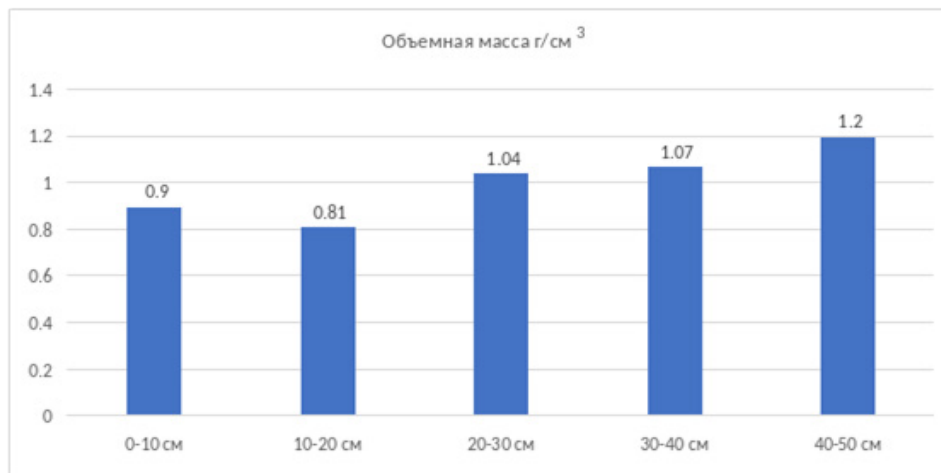


Диаграмма 4 – Объемная масса почвы, обработанный биопрепаратом.

Результаты исследования показали, что в отличии от контрольного образца на почве, обработанной биопрепаратом, процесс уплотнения протекает слабее. Это связано с улучшением циркуляции воды и других минеральных веществ в почве.

#### Заключение

Результаты исследований подтверждают эффективность разработанного биопрепарата как экологически безопасного почвенного мелиоранта, способного положи-

тельно влиять на агрофизические свойства почвы. Установлено, что применение биопрепарата способствует увеличению влажности в верхних слоях почвенного профиля, что обусловлено улучшением влагоудерживающей способности плодородного слоя и снижением испарения за счет растительной подстилки.

Анализ влажности почвы, обработанной биопрепаратом 26% составляет на глубине 0-20 см; 23,7% на глубине 20-31 см; 15,2% на

глубине 31-62 см; 12,9% на глубине 62-85 см; 12,1% на глубине 85-92 см. Значительное наличие почвенной влаги в верхних горизонтах объясняется накоплением влаги в плотном плодородном слое почвы и обильной подстилкой растений, что снижает процесс испарения

Сравнительный анализ объемной плотности показал, что обработка почвы биопрепаратом приводит к снижению степени уплотнения, особенно в верхнем горизонте, где плотность составляет 0,9 г/см<sup>3</sup> по сравнению с 1,2 г/см<sup>3</sup> в контрольном образце. Это свидетельствует о повышении пористости и улучшении условий для водо- и возду-

хообмена, что является важным фактором для роста и развития растений.

Особое внимание уделено минеральной составляющей биопрепарата – аморфному диоксиду кремния, полученному из золы рисовой шелухи. Его включение в состав препарата способствует активизации геохимических процессов в почве, улучшению структуры и циркуляции минеральных веществ, что подтверждается снижением плотности и повышением влагоемкости.

Таким образом, разработанный биопрепарат может быть рекомендован в качестве эффективных и перспективных мелиорантов для улучшения и сохранения устойчивости почвенных ресурсов.

#### **Список литературы:**

1. Агрохимия. / Под редакцией академика РАН В.Г. Минеева. – М.:ВНИИА им. Д.Н. Прянишникова, 2017. – 854 с.
2. Araujo L., Paschoalino R., Rodrigues F. Microscopic Aspects of Silicon–Mediated Rice Resistance to Leaf Scald // *Phytopathology*. - 2015. - Vol. 106(2). - P. 132–141.
3. Zargar S. M. [et al.] Role of silicon in plant stress tolerance: opportunities to achieve a sustainable cropping system // *3Biotech*. – 2019. – Vol.9(3). – P. 1–16.
4. Luyckx M. [et al.] Silicon and plants: current knowledge and technological perspectives // *Frontiers in Plant Science*. – 2017. – Vol. 8. – P. 411-418.
5. Bocharnikova, E. A. Matichenkov V. V. Influence of plant associations on the silicon cycle in the soil-plant ecosystem // *Applied Ecology and Environmental Research*. – 2012. – Vol. 10(4). – P. 547–560.
6. Ren Z., Gao H., Zhang H., Liu X. Effects of fluxes on the structure and filtration properties of diatomite filter aids // *International Journal of Mineral Processing*. - 2014. - Vol. 130. - P. 28–33.

УДК 622.3:504.05:519.86

**Тажикбаева Санайым Тойгонбаевна<sup>1</sup>,**  
*улук окутуучу*  
**Анарбай кызы Сажид<sup>2</sup>,**  
*илимий кызматкери*

**ПАЙДАЛУУ КЕН БАЙЛИКТАРДЫ КАЗЫП АЛУУНУН АЙЛАНА-ЧӨЙРӨГӨ ТИЙГИЗГЕН  
ТААСИРИНИН НЕГИЗГИ КӨРСӨТКҮЧТӨРҮН СТАТИСТИКАЛЫК МОДЕЛДЕШТИРҮҮ  
ЖАНА БААЛОО**

**Тажикбаева Санайым Тойгонбаевна<sup>1</sup>,**  
*старший преподаватель*  
**Анарбай кызы Сажид<sup>2</sup>,**  
*научный сотрудник*

**СТАТИСТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОЦЕНКА ОСНОВНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ  
ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ ДОБЫЧИ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ**

**Tazhikbaeva Sanaiym Toigonbaevna<sup>1</sup>,**  
*senior teacher*  
**Anarbai kyzy Sazhida<sup>2</sup>,**  
*researcher*

**STATISTICAL MODELING AND ASSESSMENT OF THE MAIN INDICATORS  
OF THE ENVIRONMENTAL IMPACT OF MINERAL RESOURCES EXTRACTION**

<sup>1</sup>*Ош мамлекеттик университети, Ош, Кыргыз Республикасы*  
<sup>2</sup>*КРП КР УИА ТБ А.С. Джаманбаев ат. Жаратылыш байлыктары институту,  
Ош, Кыргыз Республикасы*

<sup>1</sup>*Ошский государственный университет, Ош, Кыргызская Республика*  
<sup>2</sup>*Институт природных ресурсов им. А.С. Джаманбаева ЮО НАН КР ПКР,  
Ош, Кыргызская Республика*

<sup>1</sup>*Osh state university, Osh, Kyrgyz Republic*  
<sup>2</sup>*Institute of Natural Resources named after A.S. Dzhamanbaev SB NAS KR PKR,  
Osh, the Kyrgyz Republic*

**Аннотация.** Кыргызстандын экономикасы үчүн негизги мааниге ээ болгон пайдалуу кен байлыктарды казып алуу процесси айлана-чөйрөгө олуттуу терс таасирин тийгизет. Мындай экологиялык зыяндуулукту сандык жактан баалоонун илимий ыкмалары, анын ичинде регрессиялык анализ, заманбап экологиялык изилдөөлөрдө маанилүү роль ойнойт. Изилдөөдө көп факторлуу регрессиялык анализдин заманбап ыкмалары: көп факторлуу сызыктуу регрессия, корреляция анализи, экологиялык таасирлерди статистикалык моделдөө колдонулду. Макалада Кыргызстандын кен байлыктарынын арасынан Нарын облусундагы Кавак бассейнинин Кара-Кече көмүр кени жана Өзгөн районундагы Жалпак-Таш айылындагы Сары-Таш кени изилдөө объектилери катары тандалып алынды. Өлкөнүн энергетикалык балансында көмүрдүн үлүшү 50%дан ашып, келтирилген экологиялык зыяндуулуктун 65%га жакын үлүшү пайдалуу кен байлыктарды казып алууга туура келет.

Изилдөөнүн жыйынтыгында Кыргызстандын кен казуу тармагы үчүн адистештирилген регрессиялык моделдер иштелип чыгылды. Кенди казып алууда көмүр кычкыл газы 1 миң тоннага көбөйсө, жалпы зыяндуулук 0,86 миң тоннага көбөйүшү, казылып алынган кен калдыктары 1 миң тоннага көбөйсө, жалпы зыяндуулук 1,044 миң тоннага өсүшү болжолдонду.

Түзүлгөн моделдер аркылуу кен казуу процессиндеги технологиялык параметрлер менен экологиялык көрсөткүчтөрдүн ортосундагы сандык байланыштарды аныктоо, экологиялык кесепеттерди болжолдоо мүмкүнчүлүгү жаралды.

**Ачкыч сөздөр:** пайдалуу кен байлыктар, көмүр, таш, казып алуу, экологиялык зыяндуулук, регрессиялык анализ.

**Аннотация.** Добыча полезных ископаемых, имеющая большое значение для экономики Кыргызстана, оказывает существенное негативное воздействие на окружающую среду. Научные методы количественной оценки такого ущерба окружающей среде, включая регрессионный анализ, играют важную роль в современных экологических исследованиях. В исследовании использованы современные методы многофакторного регрессионного анализа: многофакторная линейная регрессия, корреляционный анализ и статистическое моделирование воздействия на окружающую среду, позволяющие установить зависимость между технологическими параметрами и экологическими показателями в процессе добычи полезных ископаемых. В статье в качестве объектов исследования из числа минеральных ресурсов Кыргызстана выбраны угольное месторождение Кара-Кече в Кавакском бассейне Нарынской области и месторождение Сары-Таш в селе Жалпак-Таш Узгенского района. Доля угля в энергобалансе страны превышает 50%, а около 65% наносимого окружающей среде ущерба приходится на добычу полезных ископаемых. В результате исследования разработаны специализированные регрессионные модели для горнодобывающей промышленности Кыргызстана, позволяющие определять количественные взаимосвязи между технологическими параметрами и экологическими показателями в процессе добычи полезных ископаемых, а также прогнозировать экологические последствия.

**Ключевые слова:** полезные ископаемые ресурсы, уголь, камень, процесс добычи, экологические факторы, регрессионный анализ.

**Annotation.** Mining, which is vital to Kyrgyzstan's economy, has a significant negative impact on the environment. Scientific methods for quantifying such environmental damage, including regression analysis, play a vital role in modern environmental research. The study utilized modern methods of multivariate regression analysis: multivariate linear regression, correlation analysis, and statistical modeling of environmental impacts, which allow for the establishment of a relationship between technological parameters and environmental indicators in the mining process. This article examines Kyrgyzstan's mineral resources, focusing on the Kara-Keche coal deposit in the Kavak Basin of Naryn Oblast and the Sary-Tash deposit in the village of Zhalspak-Tash in the Uzgen District. Coal accounts for over 50% of the country's energy mix, and mining accounts for approximately 65% of environmental damage. As a result of the study, specialized regression models were developed for the mining industry of Kyrgyzstan, allowing for the determination of quantitative relationships between technological parameters and environmental indicators during the mining process, as well as for the prediction of environmental impacts.

**Keywords:** mineral resources, coal, stone, mining process, environmental factors, regression analysis.

### Киришүү

Кыргызстан жаратылыш ресурстарына абдан бай өлкө жана пайдалуу кен байлыктарды казып алуу — Кыргызстандын экономикасынын маанилүү тармагы болуп саналат. Пайдалуу кендердин ар түрдүү түрлөрү бар жана алардын ичинен дүйнөлүк мааниге ээ болгон чоң кендер: алтын, көмүр, сымап, жарымметалл кендери, курулуш материалдарынын кендери

(курулуш, декоративдик таштар). Кен байлыктардын көп болушу – өлкө үчүн чоң артыкчылык. Аларды казып, иштетүү өлкөгө экономикалык жактан пайдалуу, мисалы, көмүрдү керектөө менен энергетикалык коопсуздук камсыздалат, курулуш таштарын иштетүү инфраструктураны өнүктүрүүгө салымын кошот. Бирок бул тармак жаратылыштын табигый балансын бузуп, айлана-чөйрөгө өзгөчө терс таасирлерди

тийгизиши мүмкүн.: жер кыртышы бузулат, суулар булганат, чаң жана уулуу калдыктар чыгат [1].

Экологиялык зыяндуулуктун олуттуу бөлүгү кен казуу учурунда пайда болгондуктан, бул процесстин экологиялык аспектилерин так жана илимий негизде анализдөө маселеси актуалдуу маселелерден болуп саналат.

**Макаланын максаты** – Кыргызстандын кен байлыктарын казып алуу процессиндеги айлана-чөйрөгө тийгизген терс таасирлерин регрессиялык моделдер аркылуу сандык баалоо.

**Изилдөөнүн методу.** Коюлган маселени ар тараптуу изилдөө жана сандык баалоо үчүн регрессиялык моделдерди колдонуунун илимдеги мааниси чоң. Регрессиялык анализ – көз каранды өзгөрүлмө (мисалы, экологиялык зыяндын деңгээли) менен көз карандысыз факторлордун (мисалы, казып алуу көлөмү, технологиянын түрү, фильтрациялык системанын болушу, газдардын чыгышы) ортосундагы байланыштын сандык моделин берет. Илимде жана практикада регрессиялык анализ негизги курал катары колдонулат, анткени анын жардамында прогноздоого мүмкүндүк болот [2]. Мисалы, пайдалуу кен байлыкты казып алуунун көбөйүшүнөн, абага бөлүнгөн зыяндуу заттардын канчалык өсүшү алдын - ала аныкталат. Ошону менен бирге эле бул моделдер пайдалуу кен байлыктарды казып алуунун технологиялык жана экономикалык параметрлери менен экологиялык көрсөткүчтөрдүн ортосундагы көз карандылыкты аныктоого жардам берет.

**Маселени чечүү.** Кыргызстанда кен казуу өлкөнүн көпчүлүк аймактарында жүргүзүлүп, алтын, күмүш, көмүр жана башка минералдар өндүрүлөт. Бирок кен казуу өтө татаал жана түйшүктүү процесс. Анын натыйжасында топурактын жана ландшафттын бузулушу, суу булактарынын булганышы, атмосферанын булганышы, өрттүн пайда болушу келип чыгышы мүмкүн.

Мисалы, көмүр казуу процессине токтололу. Көмүрдү казып алуу - көп баскычтуу

жана татаал илимий-техникалык процесс [3]. Аны үч негизги этапка бөлүүгө болот: алдын-ала анализ жана даярдоо, казып алуу.

1. Алдын - ала изилдөө. Бул этапта кендин запасынын көлөмү жана казууга ылайыктуу аймактар аныкталат. Кен казуу процессинин жергиликтүү экологияга тийгизген таасири изилденет.

2. Көмүрдү казуу процесси. Мында эки негизги ыкма менен жүргүзүлөт: ачык (карьердик) ыкма жана жабык (шахталык) ыкма. Жер бетине жакын жайгашкан көмүр катмарларын казууда ачык ыкма колдонулат. Ачык казуу ыкмасы экономикалык жактан чоң көлөмдөгү өндүрүш үчүн ыңгайлуу болгону менен айлана-чөйрөгө тийгизген терс таасири күчтүү.

Жер бетинен терең жайгашкан көмүр катмарларын казууда шахталык ыкма колдонулат. Шахталык казуунун экологияга тийгизген зыяны азыраак болгону менен, мында техникалык жана экономикалык татаалдыктар жаралат.

Ушул сыяктуу экологиялык маселелер Сары-Таш кенинен таш казып алуу иштеринде да орун алып, экологиялык баланска олуттуу коркунуч жаратышы мүмкүн. Сары-Таш кени Жалпак-Таш айыл аймагында, Өзгөн районунун тоолуу бөлүгүндө жайгашкан. Кен негизинен известняк, травертин жана башка курулуш таштарын камтыйт. Бул ресурстар жолдорду курууда, имараттарды каптоодо жана архитектуралык жасалгаларда кеңири колдонулат.

Жалпысынан пайдалуу кен байлыктарды казып алууда төмөнкү экологиялык зыяндар келтирилет:

а) Топурак жана ландшафтын бузулуусу: кендерди казып алуунун натыйжасында топурактын эрозиясы күчөп, жер ресурстарынын продуктивдүүлүгү төмөндөйт, өсүмдүк менен жаныбарлардын жашоо чөйрөсү бузулат.

б) Абанын булганышы: кендерди казуу процессинде чаң жана анын майда бөлүкчөлөрү, көмүртектин оксиди, күкүрттүн диоксиди, азоттун оксиди жана диоксиди сыяктуу көп өлчөмдөгү зыяндуу заттар атмосферага бөлүнүп чыгат (1-таблица).

**1-таблица - Кен казуунун этаптарындагы экологиялык зыяндуулуктар**

Кен казуунун этаптары	Бөлүнүп чыгуучу зыяндуу газдар	Газдардын пайда болуу себеби
Геологиялык чалгындоо	CO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub>	Транспорт жана техниканы иштетүүдөн
Жер казуу (карьер, шахта)	CH <sub>4</sub> , CO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , SO <sub>2</sub>	Жер катмарынан метан бөлүнүп чыгат, техникалардын дизель же бензин менен иштешинен
Жардыруу иштери	NO <sub>x</sub> , CO, SO <sub>2</sub>	Жардыруучу заттардын химиялык реакциясынан
Кенди ташуу жана иштетүү	CO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub>	Отунду күйгүзүүдөн, майды иштетүүдөн
Кендин калдыктарын күйгүзүү	CO <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , CH <sub>4</sub>	Парник газдары бөлүнүп чыгат

в) Суунун булганышы: кендерди казуу же иштетүү учурунда агып чыккан саркынды суулар, уулуу химиялык заттар жер астындагы суулардын сапатын бузат; калдыктар агын сууларга кошулуп, дарыяларга зыян келтирет; бул айылдагы тургундардын ичүүчү суу сапатын төмөндөтөт.

д) Ызы-чуу жана вибрация: жардыруунун жана техниканын катуу үнү жашоочулардын психологиялык абалына терс таасир берет.

3. Социалдык таасирлери: жергиликтүү тургундардын саламаттыгына олуттуу терс таасирин тийгизет; айыл чарба жерлери кыскарат, мал чарбасына тоскоолдук жаралат; айылда жашоо сапаты төмөндөйт.

Айлана-чөйрөгө зыян келтиргендиги үчүн кен казуучу компаниялардын мамлекетке төлөгөн компенсацияларынын көлөмү өтө төмөн болгондуктан (2-таблица), булганууну кыскартууга же калдыктарды минималдаштырууга бул талап стимул бере албайт [4].

**2-таблица . Компенсациянын көлөмү**

Булгануунун түрү	Сом (тоннасына)
Абанын булганышы	3,24
Суулардын булганышы	10,50
Таштандылардын пайда болушу	3,24

Макалада Кыргыз Республикасынын Жаратылыш ресурстары, экология жана техникалык көзөмөл министрлиги тарабынан 2010–2020-жылдар аралыгында жүргүзүлгөн изилдөөлөрдүн статистикалык жыйын-

тыктары пайдалуу кен байлыктарды казып алуу процессинин айлана-чөйрөгө тийгизген таасирин аныктоо максатында колдонулду [5]. Статистикалык жыйынтыктар боюнча изилдөө эки багытта каралды (1-сүрөт):

Жалпы зыяндуулук (мин тонна)	CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>	CO	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>
у	х1	х2	х3	х4	х5
11,2	136	6,4	198,8	34,9	21,7
13	140	7,9	216	38,5	27,2
14,8	144,6	9,4	251,8	41,6	31,8
14,8	147,5	9,4	271,9	38,7	33,9
15,5	154,8	9,7	229,5	53,2	31,2
16,2	158,2	10,3	237,8	61	32,9
14,9	161,8	8,8	234,5	40,5	29,7
15,8	167,8	9,4	237	38,5	32,3
17,8	174,3	11,4	266,6	42,6	35,9
15,2	178,9	8,7	224	30	29,3
14,7	183,6	8	223,3	48,3	27,1

Жалпы зыяндуулук (мин тонна)	Пайдалуу кен байлыктарды казып алуунун көлөмү	Учуп чыгуучу заттардын эмиссиясы	Саркынды сууларды тазалоо жана төгүү	Калдыктарды күйгүзүү
у	х1	х2	х3	х4
11,2	575	93	179	6,2
13	830,7	95,3	177	7,5
14,8	1163,9	108	181	9,1
14,8	1406,8	119	192	8,8
15,5	1812	132	197	9
16,2	1928,7	140	197	9,8
14,9	1851,3	166	213	8,3
15,8	1870,4	182,6	216	8,9
17,8	2395,2	216,8	225	10,7
15,2	2606	243,9	235	7,9
14,7	2677,7	304	236	7,3

1- сүрөт. Кендерди казып алуудагы экологиялык зыяндуулукту аныктоо

Бул изилдөөдө кен казып алуу процесиндеги жалпы экологиялык зыяндуулукка таасир этүүчү факторлордун күчү аныкталат. Мында баалоо үчүн эконометрикалык

	y	x1	x2	x3	x4	x5
y	1					
x1	0,639096	1				
x2	0,944152	0,356193	1			
x3	0,707604	0,157507	0,801858	1		
x4	0,396698	0,073521	0,441684	0,136274	1	
x5	0,896708	0,304047	0,959216	0,904532	0,31781	1

методдордун ичинен корреляциялык жана регрессиялык анализ ыкмалары колдонулат.

**Жыйынтык.** 1-кадамда берилгендер үчүн корреляциялык анализ жүргүзүлөт:

	y	x1	x2	x3	x4
y	1				
x1	0,7279409	1			
x2	0,453095547	0,908602767	1		
x3	0,563321167	0,94426212	0,959074927	1	
x4	0,905154283	0,378412833	0,053419027	0,171556	1

2- сүрөт. Өзгөрүлмөлөрдүн ортосундагы байланышты аныктоо

2- кадамда регрессиялык анализ аткарылат, мында коюлган 2 маселени өз-өзүнчө карайлы.

1- маселени чечүү:

ЖЫЙЫНТЫК	
Регрессиялык статистика	
R	0,9989722
R-квадрат	0,9979454
Норм. R-квадрат	0,9958909
Стандарттык ката	0,1086342
Изилдөө	11

Дисперсиялык анализ					
	df	SS	MS	F	F маан.
Регрессия	5	28,66099	5,732199	485,7223	1,04E-06
Калдык	5	0,059007	0,011801		
Жалпы:	10	28,72			

	Кoeffициенттер	Стандарттык ката	t-статистика	P-маани	Төмөнкү 95%	Жогорку 95%	Төмөнкү 85,0%	Жогорку 85,0%
Жалпы зыяндуулук	-0,05512	0,634529	-0,08687	0,934148	-1,68623	1,575988	-1,133413917	1,02317407
CH4	0,0364523	0,002416	15,0863	2,32E-05	0,030241	0,042663	0,032346213	0,04055839
CO2	0,8604251	0,121213	7,098449	0,00086	0,548837	1,172013	0,654440043	1,06641006
CO	-0,007131	0,004635	-1,53861	0,184516	-0,01905	0,004783	-0,015007777	0,00074509
SO2	0,0030578	0,005001	0,611477	0,567614	-0,0098	0,015912	-0,005440072	0,01155557
Nox	0,0970811	0,052687	1,842583	0,124733	-0,03836	0,232519	0,007545938	0,1866162

3- сүрөт. Регрессиялык жана дисперсиялык анализдин жыйынтыгы

Коюлган 1-маселенин көп өзгөрүлмөлүү регрессиялык модели төмөнкү 2 көрүнүшкө ээ болду:

$$y = -0,055 + 0,036 \cdot x_1 + 0,860 \cdot x_2, \text{мында } \alpha = 0,05 \quad (1)$$

$$y = -0,055 + 0,036 \cdot x_1 + 0,860 \cdot x_2 + 0,097 \cdot x_5, \text{мында } \alpha = 0,15 \quad (2)$$

2- маселени чечүү:

ЖЫЙЫНТЫК		Дисперсиялык анализ					
Регрессиялык статистика		df	SS	MS	F	F маан.	
R	0,997511833	Регрессия	4	28,577258	7,144314	300,3022	4,89E-07
R-квадрат	0,995029858	Калдык	6	0,1427425	0,02379		
Норм. R-квадрат	0,99171643	Жалпы:	10	28,72			
Стандарттык ката	0,154241414						
Изилдөө	11						

	Коэффициент тер	Стандарттык ката	t-статистика	P-маани	Төмөнкү 95%	Жогорку 95%	Төмөнкү 85,0%	Жогорку 85,0%
Жалпы зыяндуулук	1,774706779	1,6612997	1,068264	0,326485	-2,29035	5,839761	-0,96673	4,516139
Кендерди казып алуунун көлөмү	0,000682202	0,0003205	2,128225	0,077399	-0,0001	0,001467	0,000153	0,001211
Учуп чыгуучу заттардын эмиссиясы	-0,000861104	0,0030888	-0,27878	0,789771	-0,00842	0,006697	-0,00596	0,004236
Саркынды сууларды тазалоо жана төгүү	0,015705208	0,01009	1,556519	0,170589	-0,00898	0,040394	-0,00094	0,032355
Калдыктарды күйгүзүү	1,043650174	0,0646079	16,15359	3,58E-06	0,88556	1,20174	0,937036	1,150264

4- сүрөт. Регрессиялык жана дисперсиялык анализдин жыйынтыгы

Коюлган 2-маселенин көп өзгөрүлмөлүү регрессиялык модели төмөнкү 2 көрүнүшкө ээ болду:

$$y = 1,775 + 1,044 \cdot x_4, \text{ мында } \alpha = 0,05 \quad (3)$$

$$y = 1,775 + 0,0007 \cdot x_1 + 1,044 \cdot x_4, \text{ мында } \alpha = 0,15 \quad (4)$$

**Жыйынтык жана сунуштар.** (1), (2) теңдемелер кендерди казып алуу процесинде атмосферага бөлүнүп чыккан зыяндуу заттардын басымдуу бөлүгүн метан, азот оксиддери жана көмүр кычкыл газы түзөрүн көрсөттү. 1-таблицада метан жерди казууда жана кенди күйгүзүүдө, ал эми азот оксиддери менен көмүр кычкыл газы кенди казып алуунун бардык этаптарында бөлүнүп чыгары айтылган, ушул эле жыйынтык (1) теңдемеден да келип чыкты. Тактап айтканда, кенди казып алууда көмүр кычкыл газы 1 миң тоннага көбөйсө, жалпы зыяндуулук 0,86 миң тоннага көбөйөт. (3) жана (4) теңдемелердин көрсөткөнү боюнча, казып алуу көлөмүнүн экологиялык терс таасири, казылып алынгандан кийинки калдыктардын тийгизген терс таасирине салыштырмалуу өтө төмөн. Эгерде казылып алынган кен калдыктары 1 миң тоннага көбөйсө, жалпы зыяндуулук болжол менен 1,044 миң тоннага өсөт. Бул көрсөткөндөй, казып алуу процес-

син оптималдуу ыкма менен жүргүзүү жана калдыктарды максаттуу башкаруу аркылуу жалпы экологиялык зыяндуулукту кескин азайтууга мүмкүнчүлүк бар.

Мындай экологиялык зыяндуулуктарды азайтуу максатында пайдалуу кен байлыктарды казып алуу процесин оптималдаштыруунун төмөнкүдөй ыкмалары сунушталат:

1. Метанды көзөмөлдөө жана энергия булагы катары кайра колдонуу;

2. Казып алуу жана ташуу этаптарында энергияны үнөмдөөчү техникаларды колдонуу (электр, гибрид унаалар);

3. Техниканын күйүү системасын талапка ылайык жогорулатуу;

4. Жардыруу иштери үчүн экологиялык коопсуз реагенттерди колдонуу;

5. Кенди рационалдуу жана максаттуу пайдалануу;

6. Кенди казуу процесин үзгүлтүксүз мониторинг кылуу;

7. Жашылдандыруу жана рекультивация иштерин күчөтүү.

**Колдонулган адабияттар:**

1. Каримов К.А. Основные проблемы безопасности окружающей среды в Кыргызстане // ЭКОЛОГИЯ КЫРГЫЗСТАНА: проблемы, прогнозы, рекомендации. - Бишкек: Илим, 2000. - С. 5-9.

2. Шанченко Н.И. Эконометрика. Лабораторный практикум. – Ульяновск. УлГТУ. 2011, - 117 с.

3. Харионовский А.А., Литвинов А.Р. Оценка влияния на окружающую среду открытого и подземного способов добычи угля // Вестник научно-технический журнал. – 2016. - №4 - С. 113-118.

4. Сабырбеков Р., Оверленд И. Добыча полезных ископаемых, экологические проблемы и социальная лицензия на ведение деятельности в Кыргызстане // Высшая школа развития. Институт государственного управления и политики. - 2022. - доклад №68.

Кыргыз Республикасынын Жаратылыш ресурстары, экология жана техникалык көзөмөл министрлигинин сайты: <https://mnr.gov.kg/>

УДК 581: 58. 006

**Токоев Асилбек Азизбекович,**  
*кандидат биологических наук, доцент,*

**Самидин кызы Рона,**

*аспирант*

**Кутпидин кызы Наргиза,**

*магистр*

**Таирбек кыз Гулгаакы,**

*магистр*

**О СОСТОЯНИИ ИЗУЧЕННОСТИ ФЛОРЫ ЗАПОВЕДНИКА  
КУЛУН-АТА**

**Токоев Асилбек Азизбекович,**  
*биология илимдеринин кандидат, доцент*

**Самидин кызы Рона,**

*аспирант*

**Кутпидин кызы Наргиза,**

*магистр*

**Таирбек кыз Гулгаакы,**

*магистр*

**КУЛУН-АТА КОРУГУНУН ФЛОРАСЫНЫН БИЛИМ АБАЛЫ ЖӨНҮНДӨ**

**Tokoev Asilbek Azizbekovich,**  
*PhD in Biology, Associate Professor*

**Samidin kyzy Rona,**

*graduate student*

**Kutpidin kyzy Nargiza,**

*master's degree*

**Tairbek kyz Gulgaaki,**

*master's degree*

**ON THE STATE OF KNOWLEDGE OF THE FLORA OF THE KULUN-ATA NATURE RESERVE**

*Кыргызско-Узбекский Международный университет им.  
Б. Сыдыкова, Ош, Кыргызская Республика*

*Б. Сыдыков ат. Кыргыз-Өзбек Эл аралык университети,  
Ош, Кыргыз Республикасы*

*Kyrgyz-Uzbek International University named by B. Sydykov,  
Osh, Kyrgyz Republic*

**Аннотация.** Статья посвящена анализу флоры высших растений, распространенных на территории государственного заповедника Кулун-Ата. Цель исследования – анализ и оценка изученности высших растений указанного заповедника. В результате анализа флоры установлено, что она богата видовым составом, хотя таксономические категории приведены по старым источникам, результатом чего является то, что название некоторых таксонов не соответствует современным классификациям. Согласно литературным источникам на территории заповедника встречаются около 394 видов высших растений, относящихся к 83 семействам 3-х отделов.

**Ключевые слова:** флора, природный заповедник, высшие растения, редкие, эндемичные виды, экологические условия, охранная зона.

**Аннотация.** Макаала Кулун-Ата мамлекеттик коругунун флорасынын илимий изилденишинин азыркы абалын талдоого арналган. Изилдөөнүн максаты – коруктун жогорку түзүлүштөгү өсүмдүктөрүнүн изилденишинин азыркы абалын талдоо жана баа берүү. Изилдөөнүн методу – экспедициялык-маршруттук, жогорку түзүлүштөгү өсүмдүктөрүнүн таксономиялык изилденишинин абалын талдоо. Изилдөөнүн натыйжасында Кулун-Атамамлекеттик коругунун флорасынын түрдүк тутуму бай экендиги аныкталып, бирок таксономиялык категориялар эски илимий булактарга негизделип жазылгандыктан кээ бир түрлөрдүн илимий аталыштары азыркы учурдагы абалга туура келбей тургандыгы, парктын аймагында кездешүүсү так эмес экендиги иликтөөлөрдөн такталды. Илимий булактарга караганда мамлекеттик коругунун аймагында жогорку өсүмдүктөрдүн көп түрү кездешери, алар 3 бөлүмдүн тутумуна кирген 83 тукумдун тутумуна кирген 394 түрү кездешээри аныкталды.

**Негизги сөздөр:** флора; жаратылыш коругу; жогорку түзүлүштөгү өсүмдүктөрү; ареалдары; сейрек, эндемик түрлөр; экологиялык шарттар; корголуучу зона.

**Annotation.** The article is devoted to the analysis of the flora of higher plants distributed on the territory of the Kulun-Ata State Reserve. The purpose of the study is to analyze and evaluate the knowledge of higher plants of the specified reserve. As a result of the analysis of the flora, it was established that it is rich in species composition, although the taxonomic categories are given according to old sources, the result of which is that the names of some taxa do not correspond to modern classifications. According to literary sources, about 394 species of higher plants belonging to 83 families from 3 divisions are found on the territory of the reserve.

**Key words:** flora; nature reserve; higher plants; rare, endemic species; environmental conditions; security zone.

## Введение

Общеизвестно, что Кыргызстан входит в число 200 приоритетных экологических регионов планеты. Если учесть, что площадь страны составляет всего 0,03 % от площади планеты или 0,13 % мировой суши, здесь сосредоточена наибольшая концентрация видового разнообразия - около 1 % всех известных в мире видов: 2000 видов низших растений; 4300 видов высших растений, из них 300- редкие и находятся под угрозой исчезновения, 380 – эндемики, 200 – лекарственные, около 130 видов представляют древесно-кустарниковые растения, составляющие основу лесов республики [5]. Кроме того, в республике расположен один из мировых центров происхождения культурных растений. Только в орехоплодных лесах сосредоточен неисчерпаемый запас для селекции плодовых деревьев и ягодных кустарников. В республике представлены эндемики флоры (орех грецкий, несколько видов яблони, алыча, фисташка и др.), эти показатели выше, чем в среднем по Центральной Азии, что говорит о высокой насыщенности нашей страны биологическими видами.

Во всем мире человечеством осознается постепенное ухудшение состояния окружающей среды и нерациональное использование природных ресурсов. Из-за негативного антропогенного воздействия, с каждым годом сокращается численность биологического разнообразия, ареал их обитания и произрастания. Эта проблема человечества не обошла Кыргызстана стороной – из-за нерационального использования растительного ресурса во многих уникальных местах деградировано разнообразие флоры, существенно уменьшался видовой состав флоры, результатом которого является занесение около 90 видов в «Красную книгу» [4]. Биология, экология, хозяйственное значение многих из них не изучены.

На сегодняшний день, для сохранения биоразнообразия, уникальных природных комплексов и объектов, имеющие особую экологическую, эстетическую, научную значимость, во всем мире и, в то числе и в нашей республике создаются и функционируют сеть заповедники, заказники, природные парки известные под названием особо охраняемые природные территории (ООПТ). Так,

по данным Госагентству Кыргызской Республики (2024), на территории республики такие ООПТ зоны занимают площади 947,0 тыс. га или 4,6% от площади республики, куда относятся 9 государственных заповедников (380 тыс. га) 8 государственных природных национальных парков (241,3 тыс. га), 10 лесных, 23 ботанических, 19 геологических, 2 комплексных и 14 охотничьих (зоологических) заказников с общей площадью 325,4 тыс. га [3]. С приобретением республикой независимости были организованы 5 новых заповедников (Каратал-Жапырыкский, Сарычат-Эрташский, Падышатрнский, Кулунатинский и Карабууринский) и 7 природных парков («Кыргыз-Ата», «Кара-Шоро», «Беш-Таш», «Каракол», «Чон-Кемин», «Салкын-Тор» и «Саймалуу-Таш») [3].

Цель исследования – проанализировать изученность растительного мира Кулун-Атинского заповедника.

Задачи исследования – краткий анализ истории изучения флоры заповедника:

- проанализировать современное состояние флоры заповедника
- оценка изученности растительного мира.

Кулун-Атинский государственный заповедник был организован 11-августа 2004 года в Кара-Кульджинском районе Ошской области. Общая площадь заповедника 24510 га. Заповедник состоит из обособленных участков «Кулун-Ата»-18510 га и «Тонзоо»-6000 га. Заповедная зона заповедника составляет 24510 га, охранный зона-3270 га, буферная зона- 11015 га. Главная цель организации заповедника - сохранение животного, а также растительного мира и уникальной горно-озерной экосистемы. Территория заповедника расположена на Ферганском хребте близ его стыка с Алайским хребтом (Западный Тянь-Шань), в бассейне реки Тар.

Характерными чертами климата района заповедника является засушливость и континентальность с умеренно-холодной зимой и жарким летом. По данным гидрометеостанции «Кызыл-Жар» находящейся в 25 км от заповедной территории, средняя многолетняя температура воздуха июля составляет +15 С. В течении 5 месяцев в году температура воздуха отрицательная, остальные 7 месяцев- положительная. Максимальная темпе-

ратура воздуха наблюдается в конце апреля, начале мая, первые в середине октября. Первые летние месяцы характеризуется невысокими температурами, вторая половина лета - значительным повышением температуры, достигающей днем в средневысотной зоне 25 С. В осенний период, температура резко падает и первые заморозки сопровождаются выпадением снега. Наибольшее количество осадков приходится на весну. Снежный покров устойчив, образуется во второй декаде ноября и снег лежит до середины апреля.

Согласно почвенному районированию Киргизии (Мамытов, Ройченко, 1961) территория заповедника относится к Алайкууускому почвенному району, Восточно-Алайскому почвенному округу, Южно-Кыргызской почвенной провинции. На территории этого района выделены следующие типы почв:

Субальпийские горные лугово-степные почвы;

Горно-луговые бурые н;

Горно – лесные темноцветные почвы еловых лесов;

Горно-лесные почвы арчовых лесов.

Сведений о составе флоры Кулун-Атинского заповедника в литературе не имеется. В 2006-2007 году на территории заповедника под руководством д. б. н., профессора Б.К. Кулназарова была организована комплексная зоолого-экологическая научная экспедиция из членов кафедры зоологии Ошского университета [2]. Тогда были частично изучены элементы флоры. В августе 2008 года была проведена экспедиция по выявлению видового состава флоры заповедника, куда вошли знаменитые ботаники-флористы, такие как Г.А. Лазьков [8], К.Т. Шалпыков, А.Усупбаев. Основные исследования проводились на участке Кулун-Ата. Исследования проводились маршрутно-рекогносцировочным. Указанными авторами установлены основные формации высших растений, встречающиеся на территории заповедника [7].

По результатам экспедиции был составлен список растений и сделаны некоторые фотографии. В результате камеральной обработки данного материала исследователями был составлен предварительный флористический список сосудистых растений, произрастающих в заповеднике. Кыргызские названия видов и семейств преимущественно

приводится по С. Ш. Шамбетову и др. (1975), что некоторые требует уточнению. Объем семейств и понимание видов указано согласно сводке А.К. Черепанова (1995), имеющую англоязычную версию. Следует также отметить, что название некоторых таксономических единиц приведены из старых источников, таких как Флоры Киргизской ССР (1990), что не согласуется с данными «Кадастра сосудистых растений Кыргызстана» (2014).

К сожалению, обследование территории заповедника производилось в поздний период времени, когда многие, особенно раннецветущие виды уже прекратили свою вегетацию. В частности, это относится к различным видам лилейных и луковых, таких родов как *Tulipa*, *Crocus*, *Gagea*. Другие виды, как признают сами исследователи, из-за поздних сроков сбора не поддаются точному определению [6]. Как утверждают К.А. Абдисатаров, З.Ж. Жусупов: «Практически с полной уверенностью можно утверждать, что в аспекте конкретных региональных флористических, фаунистических, инвен-

таризационных, биоценологических и эколого- фенологических изысканий история исследований природы Кулун-Атинского заповедника только начинается. Данное обстоятельство ставит перед научным отделом очень непростые задачи, но также и оказывает исполнителям любых исследовательских тем честь первооткрывателей» [1].

В результате экспедиционных исследований в 2008 г., проведенных на территории заповедника установлено 394 вида высших растений из 83 семейств относящиеся к 3 отделам высших растений [6]. Как видно из таблицы, растительный мир природного заповедника очень разнообразен: Однако, сведения имеются только по высшим растениям. Это говорит о необходимости тщательного изучения указанных групп низших растений. Что касается высших растений, то представители нескольких отделов, таких как, хвощевидные, голосеменные характеризуются малым числом родов с единичными видами. Самыми доминирующими группами растений природного парка являются цветковые растения (см.таблица.1).

**Таблица 1. Список видов высших растений государственного Кулун-Атинского заповедника (по Г.А.Лазькову, 2008)**

	Наименование семейств	К о - личе- ство видов	Э н д е - м и к и К ы р - г ы з - стана	Э н д е - м и к и Средней Азии	Широ- ко рас- п р о - с т р а - н е н - н ы е виды
	<b>Отдел Хвощевые - Equisetopsida</b>				
1	Сем.Хвощевые-Equisetaceae DC.	1		1	
	<b>Отдел Голосеменные- Gymno- spermae</b>				
2	Сем. К и п а р и с о в ы - e-CupressaceaeBartl.	2		1	1
3	Сем.Сосновые-PinaceaeLindl.	1			1

4	Сем. Эфедровы - e-EphedraceaeDumort.	4		1	1
	<b>Отдел Покрытосеменные -Angio- spermae</b>				
5.	Сем.Кленовые-AceraceaeJuss.	2		2	
6.	Сем.Луковые-AlliaceaeJ.Agardh.	4		5	
7.	Сем.Амарантовы - e-AmarantaceaeJuss.	2			2
8	Сем.Кутровые-АросунaceaeJuss.	1		1	
9	Сем.Спаржевые-AsparagaceaeJuss.	2			2
10	Сем.Асфodelовы - e-AsphodelaceaeNewm	2		2	
11	Сем.Асплениевы - e-AspleniaceaeNewm	1			1
12	Сем.Астровые-AsteraceaeDumort	73	3	28	41
13	Сем.Антиридиевы - e-AthyridaceaeAlst	1		1	
14	Сем.Бальзаминовы - e-BalsaminaceaeA.Rich	1		1	
15	Сем.Барбарисовы - e-BerberidaceaeJuss.	1		1	
16	Сем.Березовые-BetulaceaeJuss.	1		1	
17	Сем.Бурачниковы - e-BoraginaceaeJuss.	9	1	1	7
18	Сем.Капустные-Brassicaceae Bur- nett.	24	3	6	15
19	Сем.Колокольчиковы - e-CampanulaceaeJuss.	4		2	2
20	Сем.Гвоздичны - e-CaryophyllaceaeJuss.	19	1	4	14
21	Сем.Бересклетовые-CelastraceaeR. Br.	1		1	
22	Сем.Маревые-Chenopodiaceae Vent.	5			5
23	Сем.Ландышевые-Convallariaceae Horan.	1			1
24	Сем.Вьюнковые - e-ConvolvulaceaeJuss.	1		1	
25	Сем.Толстянковые-Crassulaceae DC	6		4	2
26	Сем.Осоковые-CyperaceaeJuss.	3		3	

27	Сем.Ворсянковые-DipsakaceaeJuss.	2		2	
28	Сем.Лоховые-EleagnaceaeJuss.	1			1
29	Сем.Буковые-FabaceaeLindl.	24	1	9	14
30	Сем.Дымянковые-Fumariaceae DC.	1		1	
31	Сем. Горечавковые - e-GentianaceaeJuss.	4		2	2
32	Сем.Гераниевые-GeraniaceaeJuss.	4		1	4
33	Сем. Крыжовниковы - e-Grossulariaceae DC.	2		2	
34	Сем. Зверобойны - e-HypericaceaeJuss.	2			2
35	Сем. Хвостниковы - e-HippuridaceaeJuss.	3			2
36	Сем.Ситниковые-JuncaceaeJuss.	1			1
37	Сем.Ситниковидные-Juncaginaceae Rich.	1			1
38	Сем.Яснотковые-LamiaceaeLindl.	23	3	15	5
39	Сем.Лилейные-LiliaceaeJuss.	2		1	
40	Сем.Кермекковые-Limonaceae Ser.	2	1	1	
41	Сем.Льновые-LinaceaeS.F.	2		2	
42	Сем.Мальвовые-MalvaceaeJuss.	2		2	
43	Сем. Ослинниковы - e-OnagraceaeJuss.	3		2	
44	Сем.Орхидные-OrchidaceaeJuss.	1		1	
45	Сем.Маковые-PapaveraceaeJuss.	3			3
46	Сем. Подорожниковы - e-Plantaginaceae Juss.	1			1
47	Сем.Мятликовые-Poaceae Barnhart	29		3	27
48	Сем.Гречишные-PolygonaceaeJuss.	12		4	8
49	Сем.Первоцветные-Primulaceae Vent.	3		2	1

50	Сем. Лютиковые - e-RanunculaceaeJuss.	11		6	4
51	Сем.Розовые-RosaceaeJuss.	23		10	13
52	Сем.Мареновые-RubiaceaeJuss.	5		1	4
53	Сем.Рутовые-RutaceaeJuss.	2		1	1
54	Сем.Ивовые-SalicaceaeMirb.	3		1	2
55	Сем. Камнеломковые - e-SaxifragaceaeJuss.	1			1

56	Сем. Норичниковы - e-ScrophulariaceaeJuss.	8		4	4
57	Сем. Гребенщиковы - e-Tamariaceae Link	1			1
58	Сем.Зонтичные-UmbrelliferaeJuss.	27	3	14	10
59	Сем.Крапивные-UrticaceaeJuss.	1			1
60	Сем. Валериановы - e-ValerianaceaeBatsch.	2		2	
61	Сем. Жимолостны - e-CaprifoliaceaeJuss.	6		4	2
62	Сем.Молочайные-Euphorbia Juss.	2		2	
83	Сем.Пасленовые-SolanaceaeJuss.	2			2
	Итого:	394	16	62	212

К сожалению, как было отмечено выше, обследование территории нынешнего заповедника производилось в поздний период времени, когда многие, особенно раннецветущие виды уже прекратили свою вегетацию. В частности, это относится к различным видам раннецветущих видов лилейных и луковых и др. Поэтому необходимо продолжить исследования в весенний и раннелетний период для полного выявления всего состава флоры заповедника. Ряд таксономических сложных групп, таких как семейства злаковые, осоковые и некоторые другие, также нуждаются в дополнительном изучении. Тоже можно сказать о некоторых родах, таких как *Artemisia*, *Cotoneaster*, *Erigeron*, *Gagea*, *Salix*, *Taraxacum*, *Tragopogon* и др. Для выявления и правильной идентификации входящих в них видов необходимы дополнительные исследования, использование правильно определенных сравнительных, а иногда типовых материалов. Полный анализ флоры заповедника можно будет провести только после изучения всей флоры заповедника. Но на основе уже составленного списка можно сделать некоторые предварительные выводы. Из видов, произрастающих в заповеднике, 16 яв-

ляются эндемичными для Кыргызстана (см. табл.1), около 62 вида не выходят за пределы Средней Азии, остальные распространены более широко. Наличие большого количества среднеазиатских видов, свидетельствует о важной роли автохтонного элемента в сложении флоры заповедника. Из видов растений, включенных в «Красную книгу» был обнаружен только один - *Sorbuspersica* Hedl-Рябина персидская [4, 5].

Сравнительный анализ экологии встречающихся видов показал, что представители злаковых и осоковых больше привержены к засушливым солнечным склонам местности. Виды класса двудольных, хотя таксономический состав очень большой, тем не менее они больше встречаются на не солнечных склонах гор со сравнительно не засушливыми условиями обитания. Анализ флоры природного заповедника показал, что на его территории встречается 1 вид растений, занесенный в «Красную книгу Кыргызской Республики»: *Sorbuspersica* - Рябина персидская [5].

#### Выводы

1. Растительный мир государственного природного заповедника Кулун-Ата разно-

образен, здесь встречаются представители высших и низших растений.

2. Однако, низшие растения никем не изучены. Сведения о высших растениях также отрывочные, таксономические названия видов и родов приведены из источников 50-60 летней давности, поэтому название видов у некоторых не соответствует данным новых исследований.

3. Во флоре в основном господствуют представители отдела покрыто семенных. Представители семейств, встречающихся на территории заповедника, распространены неравномерно: довольно разнообразны злаковые, сложноцветные, зонтичные, бобовые, розоцветные, губоцветные и др.(см. табл.)

4. Довольно большая групп семейств встречаются с небольшим числом видов – от 1 до 20. Среди видов флоры парка встречается 1 вид, занесенный в Красную книгу Кыргызской Республики.

#### Список литературы:

1. Красная книга Кыргызской Республики. Редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды животных и растений. 2006. Гл. ред. Э.Дж.Шукуров / Госагенство по охране окружающей среды и лесному хоз-ву при Правительстве Кырг. Респ. БПИ НАН Кырг. Респ. – 2-е изд. При финан. поддержке FAONFPF. -**Абдисатаров, К.А.** Общая характеристика Кулун-Атинского государственного заповедника / К.А.Абдисатаров, З.Ж. Жусупов // Материалы к флоре Кулун-атинского государственного заповедника. Вестник 1. -**Боромбаев, А.Б.** Проблемы сохранения биоразнообразия Кулун-Атинского государственного заповедника / А.Б. Боромбаев // Научные труды Кулун-атинского государственного заповедника. Вестник 1. -**Боромбаев, А.Б.** Кулун-Ата мамлекеттик жаратылыш коругунун өсүмдүктөр жана жаныбарлар дүйнөсүнүн музейи / А.Б. Боромбаев. -**Жундубаев, К.Ш.** Особо охраняемые природные территории Кыргызстана и их роль в сохранении биоразнообразия / К.Ш. Жундубаев // Научные труды Кулун-атинского государственного заповедника. Вестник 1. -**Лазьков, Г.А.** Материалы к флоре Кулун-Атинского государственного заповедника / **Лазьков Г.А. Боромбаев А.Б., Боромбаев Ж.А.** // Материалы к флоре Кулун-атинского государственного заповедника. 1-том. -**Усупбаев, А.К.** Основные типы, формации и группы ассоциаций Кулунатинского государственного заповедника / **А.К.Усупбаев, Т.А.Акуналиев, К.Т.Шалпыков, К.А.Абдисатаров** // Научные труды Кулун-атинского государственного заповедника. Вестник т.1. -**Лазьков, Г.А.** Кадастр сосудистых растений Кыргызстана / Г.А.Лазьков.

УДК 632 (573)

**Хегай Иван Валерьевич,**  
*кандидат биологических наук*  
**Купсуралиева Индира Кудайбергеновна,**  
*кандидат биологических наук*  
**Курманбеков Самат Курманбекович,**  
*научный сотрудник*

**ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ РЕПЕЛЛЕНТОВ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ЯБЛОНЬ  
ОТ ЯБЛОНЕВОЙ ПЛОДОЖОРКИ  
(*CYDIA POMONELLA*) В КЫРГЫЗСТАНЕ**

**Хегай Иван Валерьевич,**  
*биология илиминин кандидаты*  
**Купсуралиева Индира Кудайбергеновна,**  
*биология илиминин кандидаты*  
**Курманбеков Самат Курманбекович,**  
*илимий кызматкер*

**КЫРГЫЗСТАНДА АЛМАЧЫЛ МӨМӨ-ЖЕГИЧ КӨПӨЛӨКТӨН (*CYDIA POMONELLA*)  
КОРГОО ҮЧҮН РЕПЕЛЛЕНТТЕРДИ КОЛДОНУУ ТАЖРЫЙБАСЫ**

**Khegay Ivan Valerievich,**  
*Ph.D.*  
**Kupsuralieva Indira Kudaibergenovna,**  
*Ph.D.*  
**Kurmanbekov Samat Kurmanbekovich,**  
*researcher*

**EXPERIENCE OF USING REPELLENTS TO PROTECT  
APPLE TREES FROM THE CODLING MOTH (*CYDIA POMONELLA*) IN KYRGYZSTAN**

*Научно-производственный центр леса им. П.А. Гана НАН КР ПКР,  
Бишкек, Кыргызкая Республика*

*КР ПК УИА П.А. Ган ат. Илимий-өндүрүш токой борбору, Бишкек, Кыргыз Республикасы*

*Scientific and Production Center for Forest named after P.A. Ghan of the NAS KP PKR,  
Bishkek, Kyrgyz Republic*

**Аннотация.** В работе приведен опыт применения репеллентов для защиты от яблоневой плодовой жорки (*Cydia pomonella*) яблоневых садов в различных регионах Кыргызской Республики в 2021-2022 годах. В Кыргызстане практически не применяются методы защиты растений с использованием репеллентов. Репелленты отличаются безопасностью для людей и окружающей среды и заслуживают внимания как один из альтернативных вариантов борьбы с вредителями.

**Ключевые слова:** яблоневая плодовая жорка (*Cydia pomonella*), сельскохозяйственный вредитель, методы борьбы, репелленты, эксперимент, яблоневые сады, защита растений.

**Аннотация:** Макалада 2021-2022-жылдары Кыргыз Республикасынын ар кайсы аймактарындагы алма бактарында алмачыл мөмө-жегич көпөлөктөн (*Cydia pomonella*) коргоо үчүн репелленттерди колдонуу тажрыйбасы берилген. Кыргызстанда репелленттерди колдонуу менен өсүмдүктөрдү коргоо ыкмалары дээрлик колдонулбайт. Репелленттер адамдар жана айлана-чөйрө үчүн коопсуз жана зыянкечтерге каршы күрөшүүнүн альтернативтүү варианты катары көңүл бурууга татыктуу.

**Негизги сөздөр:** алмачыл мөмө-жегич көпөлөк (*Cydia pomonella*), айыл чарба зыянкечтери, күрөштүн ыкмалары, репелленттер, эксперимент, алма бактары, өсүмдүктөрдү коргоо.

**Annotation.** This paper presents the experience of using repellents to protect against codling moth (*Cydia pomonella*) in apple orchards in various regions of the Kyrgyz Republic in 2021-2022. Plant protection methods using repellents are practically not used in Kyrgyzstan. Repellents are safe for people and the environment and deserve attention as an alternative pest control option.

**Key words:** codling moth (*Cydia pomonella*), agricultural pest, methods of struggle, repellents, experiment, apple orchards, plant protection.

### Введение

Яблонева плододорка (*Cydia pomonella*) - бабочка из семейства листовёртки *Tortricidae*, отряда чешуекрылые *Lepidoptera*, класса насекомых, типа членистоногие [1, 2]. Ночная бабочка серовато-коричневого цвета, величина в размахе крыльев - 15-20 мм. Откладку яиц начинает через 7-10 дней после цветения яблони, когда температура воздуха не ниже 16 градусов и нет сильного ветра и дождя. Яйца откладывает у яблони на верхнюю сторону листа, у груши на нижнюю, а затем на плодах. Яйца зеленовато-белого цвета, диаметром до 1 мм, гусеницы светло-розовые, с коричневой головкой и серыми бородавками на теле, достигают 18 мм, куколки желтовато-коричневые длиной 9—12 мм [3, 4].

Яблонева плододорка довольно широко распространённый и встречающийся повсеместно в Кыргызстане вид, это сельскохозяйственный вредитель, поражающий плоды яблони, сливы, груши и персика (рис. 1).



Рис. 1. Яблоко поврежденное гусеницей яблоневой плододорки

Методов борьбы с яблоневой плододоркой достаточно много: химические (обработка инсектицидами), агротехнические

(очистка сучьев от старой коры, уборка растительных остатков, перекопка почвы для уничтожения зимующих гусениц и т.д.), биологические (выпуск в сады трихограммы, применение биопрепаратов, использование аттрактантных и феромонных ловушек и т.д.).

При всем наличии разнообразных методов борьбы с яблоневой плододоркой, на территории Кыргызской Республики, мало применяются методы с использованием репеллентов. Методы с использованием репеллентов отличаются безопасностью для людей и окружающей среды и заслуживают внимания как одни из альтернативных вариантов борьбы с вредителями.

**Материалы и методы.** Научно-производственному центру леса им. П.А. Гана Национальной академии наук Кыргызской Республики (НПЦЛ НАН КР) Южно-корейской фирмой «Дасан» на основе соглашения о сотрудничестве, для проведения опытов были предоставлены репелленты для защиты от яблоневой плододорки в количестве 2000 шт.

Сотрудниками лаборатории экологии и защиты леса НПЦЛ НАН КР, в течении двух лет (в 2021-2022 годах) были проведены эксперименты по применению репеллентов от яблоневой плододорки в яблоневых садах различных регионов Кыргызской Республики: в Иссык-Кульской, Таласской, Баткенской и Чуйской областях.

Данный репеллент фирмы «Досан» работает по принципу отпугивания вредителя от защищаемого плодового участка. Согласно инструкции производителя, репелленты развешиваются по периметру защищаемой территории, то есть только по краю садового участка. Нет необходимости развешивать репелленты на каждое плодородное дерево.

Весной 2021 года были заложены эксперименты в Иссык-Кульской области (г. Кара-

кол, г. Былыкчи, с. Джеты-Огуз, Ак-Сууйская лесная опытная станция Научно-производ-

ственного центра леса НАН КР), в городах Таласе, Баткене и Бишкеке (в Ботаническом саду им. Э.З. Гареева НАН КР) (рисунок 2).



Рис. 2 – Вывешивание репеллента от яблоневой плодожорки

В 2022 году был продолжен эксперимент по воздействию репеллентов от яблоневой плодожорки в плодовых садах Иссык-Кульской области (с. Джеты-Огуз, г. Каракол, г. Былыкчи, Ак-Сууйская лесная опытная станция Научно-производственного центра леса НАН КР), в Таласской области (с. Кара-Суу), в Баткенской области (с. Рават) и в г. Бишкек (микрорайон Тунгуч).

Как было выше указано, данный репеллент работает по принципу отпугивания

вредителя от защищаемого плодового участка. В ходе опыта репелленты, по предложенной производителем схеме были развешаны по периметру, то есть по краю садовых участков, так как нет необходимости вешать репелленты на каждое дерево, согласно инструкции производителя.

**Результаты и обсуждение.** В течение двух лет, осенью перед сбором урожая, был проведен визуальный осмотр яблок на пораженность вредителем, на защищаемых плодовых участках (рисунок 2).

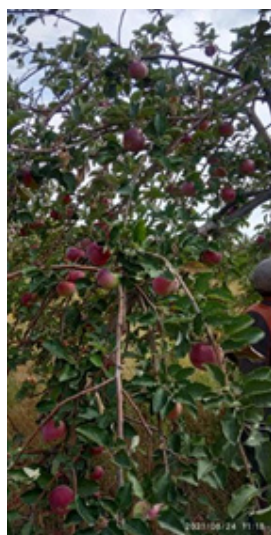


Рисунок 2 – Урожай яблок с участков с применением репеллента фирмы «Досан» в 2021 г.

В 2021 году по результатам визуального осмотра, большая часть урожая яблок с опытных участков была без заселения плодовой жоркой во всех поставленных экспериментах. Было очень мало плодов яблок зараженных вредителем - яблоневой плодовой жоркой. Некоторые яблоки были заражены плодовой жоркой, возможно из-за того, что данный репеллент на некоторых участках был вывешен несколько позднее в мае месяце. По полученным результатам, в целом можно сказать, что репеллент работает хорошо.

В 2022 году осенью перед сбором урожая, также был проведен визуальный осмотр яблок. Как показал визуальный осмотр,

большую часть урожая яблок получили без заселения яблоневой плодовой жоркой в экспериментах поставленных в с. Кара-Суу Таласской области, с. Рават Баткенского района и в Чуйской области на учебном участке КНАУ им. К.И. Скрябина (таб. 1). (рисунки 2, 3). Здесь по результатам опыта репеллент сработал хорошо.

Также по результатам визуального осмотра, большую часть урожая яблок получили пораженной яблоневой плодовой жоркой в экспериментах проведенных в с. Ак-Суу Иссык-Кульской области и в г. Бишкек (микрорайон Тунгуч). По результатам опыта репеллент здесь сработал слабо.

**Таблица 1.** Результаты применения репеллента в 2022г.

№	Репеллент	Дерево	Место опыта	Опытный участок	Контрольный участок
1	Cydia pomonella	Яблоня	Таласская обл., с. Кара-Суу	Яблоня без поражения плодовой жоркой	Часть яблони поражена плодовой жоркой
2	Cydia pomonella	Яблоня	Баткенская обл., с. Рават	Яблоня без поражения плодовой жоркой	Часть яблони поражена плодовой жоркой
3	Cydia pomonella	Яблоня	Чуйская обл. учхоз. КНАУ	Яблоня без поражения плодовой жоркой, чистая	Часть яблони поражена плодовой жоркой
4	Микс	Яблоня	Чуйская обл. учхоз. КНАУ	Яблоня без поражения плодовой жоркой, чистая	Часть яблони поражена плодовой жоркой
5	Cydia pomonella	Яблоня	Иссык-Кульская обл., с. Ак-Суу	Часть яблони поражена плодовой жоркой	Часть яблони поражена плодовой жоркой
6	Cydia pomonella	Яблоня	Иссык-Кульская обл., г. Балыкчы	Часть яблони поражена плодовой жоркой	Часть яблони поражена плодовой жоркой
7	Cydia pomonella	Яблоня	Иссык-Кульская обл., с. Ак-Суу	Часть яблони поражена плодовой жоркой	Часть яблони поражена плодовой жоркой
8	Cydia pomonella	Яблоня	Чуйская обл. Тунгуч	Яблоня полностью поражена плодовой жоркой	Яблоня полностью поражена плодовой жоркой
9	Cydia pomonella	Яблоня	Чуйская обл. Тунгуч	Яблоня полностью поражена плодовой жоркой	Яблоня полностью поражена плодовой жоркой



Рис.2. – Результаты эксперимента, Баткенский район с. Рават (2022 г.)



Рис.3. - Результаты эксперимента, Талаская область с. Кара-Суу (2022 г.)

### Выводы

По результатам эксперимента проведенного в 2021 году, можно сказать, что репеллент работает хорошо, в 2022 году результаты опыта неоднозначны, в некоторых регионах получены хорошие результаты, в других нет.

В ходе проведения эксперимента нами были сделаны следующие выводы: Во первых, репеллент фирмы «Досан» от яблоневой плодовой гнили хорошо работает непосредственно рядом с плодами, на расстоянии более метра местами наблюдается поражение плодовой гнилью. Желательно использование репеллентов в более плотном количестве, как наиболее оптимальный вариант развешивать репеллент на каждое дерево. Во вторых, очень важно не запаздывать с сроками проведения работ и размещать репелленты в садах до цветения яблонь. Также было сделано наблюдение, что при интен-

сивном солнечном сиянии в весенне-летний период были случаи повреждения крючков на которых закреплены репелленты. Пластмассовые крючки желательно заменить на железные.

Для получения более точного результата необходимо проведение повторного эксперимента на этих же участках и вывешивание данного репеллента в более ранние месяцы, в зависимости от климатических условий (в марте-апреле), так же желательно создать постоянный опытный участок с рекомендацией использования репеллентов на период не менее трех лет.

В целом по результатам опытов можно сказать, что при соблюдении вышеуказанных рекомендаций, применение данного репеллента целесообразно и заслуживает внимания как альтернативный безопасный для биологических объектов и окружающей среды метод борьбы с яблоневой плодовой гнилью.

**Список литературы:**

1. **Великань В.С.**, Определитель вредных и полезных насекомых и клещей плодовых и ягодных культур в СССР. / В.С. Великань, А.М. Гегечкори, В.Б. Голу: Сост. Л.М. Копанева. — Колос. Ленинградское отделение, 1984. — 288 с.
2. **Васильев В.П., Лившиц И.З.** Вредители плодовых культур. — М.: Колос, 1984. — 399с.
3. **Данилевский А.С., Кузнецов В.И.** Листовертки Tortricidae, триба плодожорки Laspeyresini. М.-Л.: АН СССР, 1968. 636 с. (Фауна СССР, новая серия, N 98. Насекомые чешуекрылые. Т. 5, вып. 1.)
4. **Корчагин В.Н.** Вредители и болезни плодовых и ягодных культур. Альбом. М., «Колос», 1971. 160 с.

УДК 622.32.1

**Шайдуллаев Расулбек Бегимкулович,**  
*кандидат технических наук, старший научный сотрудник*  
**Омуров Жетимиш Кочунович,**  
*научный сотрудник*  
**Токтоназаров Сыдыкбек Токтоназарович,**  
*старший научный сотрудник*

**РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ОБЛАГОРОЖЕННОГО ТОПЛИВА ИЗ НИЗ-  
КОСОРТНЫХ УГЛЕЙ**

**Шайдуллаев Расулбек Бегимкулович,**  
*техника илимдердин кандидаты улук илимий кызматкер*  
**Омуров Жетимиш Кочунович,**  
*илимий кызматкер*  
**Токтоназаров Сыдыкбек Токтоназарович,**  
*улук илимий кызматкер*

**ТӨМӨНКҮ СОРТТОГУ КӨМҮРДӨН ЖАКШЫРТЫЛГАН  
КӨМҮРДҮ АЛУУНУН ТЕХНОЛОГИЯСЫ**

**Shaidullaev Rasulbek Begimkulobish.,**  
*senior researcher*

**Omurov Zhetimish Kochunovich,**  
*researcher*

**Toktonazarov Sydykbek Toktonazarovich,**  
*head*

**DEVELOPMENT OF TECHNOLOGY FOR PRODUCING ENHANCED  
FUEL FROM LOW-GRADE COALS**

*Институт природных ресурсов им. А.С. Джаманбаева ЮО НАН КР ПКР  
Ош, Кыргызская Республика  
КРП КР УИА ТБ А.С. Джаманбаев ат. Жаратылыш байлыктары институту, Ош, Кыргыз  
Республикасы*

*Institute of Natural Resources named after A.S. Dzhamanbaev SB NAS KR PKR,  
Osh, Kyrgyz Republic*

**Аннотация.** Бул макалада пиролиздик түзүлүштүн жардамы менен жакшыртылган көмүрдү алуунун инновациялык ыкмасы жана Кыргызстандын түштүк аймагындагы төмөнкү сорттогу көмүрдү кайра иштетүү технологиясын иштеп чыгуу сунушталууда. Изилдөөнүн максаты болуп Кыргызстандагы төмөнкү сорттогу көмүрдөн жакшыртылган көмүрдү алуунун технологиясын иштеп чыгуу жана алынган продукцияны өлкөнүн жылуулук-энергетика жана курулуш тармагында натыйжалуу пайдалануу болуп саналат.

Сунуш кылынган идеянын жаңылыгы болуп жакшыртылган отунду алуу үчүн пиролиздик түзүлүштү колдонуу менен төмөнкү сорттогу көмүрдү кайра иштетүү технологиясын иштеп чыгуу ыкмасы сунушталууда, ал эми эксперименталдык изилдөөлөрдүн натыйжасында жогорку сапаттагы жакшыртылган көмүр алынып, алынган продукт импортту алмаштыруучу отун болуп- жарым кокс алынды.

**Негизги сөздөр:** көмүр, термохимиялык процесс, пиролиздик түзүлүш, жакшыртылган көмүр, инновациялык ыкма, жарым кокс.

**Аннотация.** В данной статье рассматривается инновационный способ в получении обогащенного твердого топлива с помощью пиролизной установки и разработка технологии переработки низкосортных углей южного региона Кыргызстана. Цель исследований являются разработка технологии для получения обогащенного топлива из низкосортных углей Кыргызстана и эффективного их применения в теплоэнергетическом направлении и стройиндустрии страны.

Новизна предлагаемой идеи заключается применения пиролизной установки для получения обогащенного твердого топлива и разработка технологии переработки низкосортных углей, в результате экспериментальных исследований получена импортозаменимое топливо высокого качества – полукокс.

**Ключевые слова:** уголь, термохимический процесс, пиролизная установка, обогащенное топливо, инновационный подход, полукокс.

**Annotation.** This article discusses an innovative method for obtaining refined solid fuel using a pyrolysis plant and the development of a technology for processing low-grade coals from the southern region of Kyrgyzstan. The purpose of the research is to develop a technology for obtaining refined fuel from low-grade coals in Kyrgyzstan and their effective use in the heat and power industry and the construction industry of the country.

The novelty of the proposed idea is the use of a pyrolysis plant to obtain refined solid fuel and the development of a technology for processing low-grade coals; as a result of experimental studies, high-quality import-substitutable fuel was obtained - semi-coke.

**Key words:** coal, thermochemical process, pyrolysis plant, refined fuel, innovative approach, semi-coke.

### Введение

В последние десятилетия в теплоэнергетической сфере страны остро встает вопрос об использовании экологически чистых природных ресурсов, однако в таких условиях использование природного газа принесло бы хорошие результаты но, однако данный вид энергии для бюджета страны является *дорогим удовольствием*. Поэтому актуальным вопросом является использование своих имеющихся природных ресурсов - уголь. Однако масштабное использование угля приводит к обильному загрязнению окружающей среды, поэтому нами предлагается инновационный подход по решению данной проблемы. На сегодня возникает *вопрос о повышении теплотворности и снижения летучих вредных веществ из состава низкосортного бурого угля путем облагораживания, при котором улучшаются основные параметры угля южного региона страны*. В процессе переработки угля необходимы специальные оборудования, одним из которых считается пиролизные установки, с помощью которых можно достичь улучшению основных пара-

метров низкосортных углей и получить угли с улучшенными качествами. В процессе переработки низкосортных углей Кыргызстана получается качественный новый продукт – полукокс и пиролизный газ. Полученный таким инновационным методом продукт целесообразно использовать в теплоэнергетическом секторе страны. Как следствие, на сегодняшний день главным способом рационального использования угля является его прямое сжигание по технологиям, основы которых разработаны в начале прошлого века. Анализ современного состояния, металлургии, стройиндустрии и коммунальной теплоэнергетики Кыргызстана свидетельствует о необходимости разработки и развития перспективных технологий и оборудования для получения качественного продукта из низкосортных углей, окончательный продукт является конкурентоспособным, который способствует к повышению экономического сектора нашей страны.

Цель исследований являются разработка технологии для получения обогащенного топлива из низкосортных углей южного ре-

гиона Кыргызстана и повышения основных параметров в процессе получения полукокса и пиролизного газа. Для достижения поставленной цели исследования необходимо решить следующие задачи: решить вопрос, каким способом переработки лучше произвести процесс облагораживания угля; произвести исследовательскую работу в области технологических оборудований, для нашего случае выбираем пиролизной установки и ее отличительные черты перед известными конструкциями; описание технологического процесса при получении нового качественного продукта; разработка технологии для получения обогащенного топлива из низкосортных углей южного региона республики и проведение экспериментальных исследований с помощью пиролизной установки осуществляется с доступом и без доступа кислорода.

Новизна предлагаемой идеи заключается в применении пиролизной установки для получения обогащенного твердого то-

плива и разработка технологии переработки низкосортных углей, а в результате экспериментальных исследований можно получить конкурентоспособного твердого топлива с повышенным качеством – полукокс. С помощью полученного продукта достигается улучшения экологии окружающей среды, особенно в зимний период времени на местах расположения промышленных зонах.

Учитывая, вышеотмеченных факторов и особенностей использования природных ресурсов Республики нами предлагается способ энерготехнологической переработки угля и комплекс для ее реализации. Она заключается в повышении основных параметров угля частичной газификации угля низкой степени метаморфизма с помощью пиролизной установки. При этом из горючей массы угля производятся два компонента: пиролизный газ, который сжигается для производства тепловой энергии, и высокоактивный коксовый остаток - полукокс. На рисунке 1 представлены продукты переработки угля, которые в известных исследователей [1].



Рис.1. Изделие полученные после переработки углей.

**Исследовательская часть.** Процесс полукоксования бурых углей является наиболее адаптивным в ряду технологий глубокой переработки углей. У него технически выгодный температурный интервал, он экономически менее затрачен (по сравнению с высокотемпературным коксованием), более эффективен с точки зрения получения широкого спектра хими-

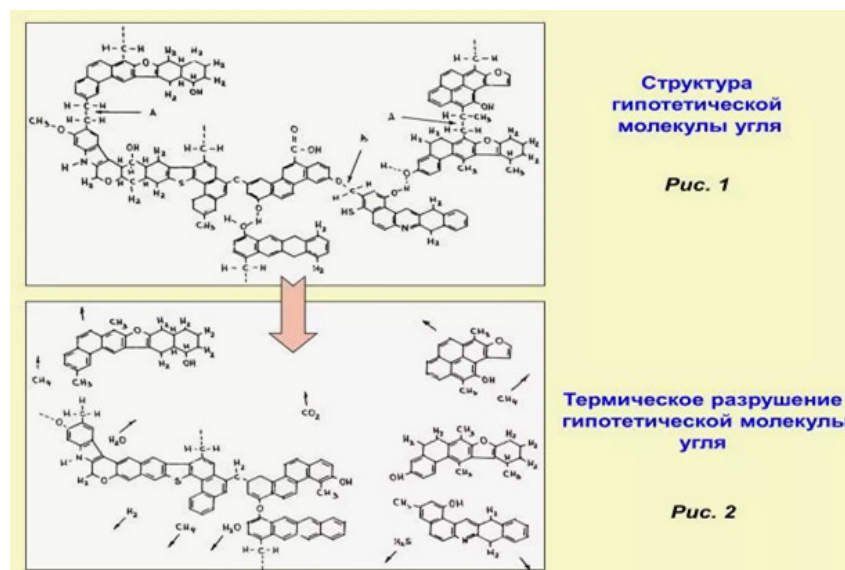
ческих продуктов с высокой добавленной стоимостью. За рубежом, все это вызывает пристальный интерес к технологиям получения топливных продуктов с новыми потребительскими свойствами из низкосортных местных углей и обуславливает необходимость постановки широкомасштабных исследований для получения из них полезных продуктов топливного и иного назначения.

Таким образом, область исследований охватывает проблему рационального использования ископаемых углей, разработку технологий и оборудования для получения обогащенного топлива, используемого в коммунальной теплоэнергетике, металлургии и стройиндустрии. Для улучшения основных показателей каменных и бурых углей необходимо произвести крекинг или коксование.

Крекинг каменного угля – это процесс термического разложения угля, направленный на получение более ценных продуктов, таких как бензин, дизельное топливо и другие углеводороды, а также кокс. Этот процесс часто называют коксованием, и он является одним из основных способов переработки каменного угля [2]. В таком процессе обогащении происходит структурное изменение молекул угля (см. рис.1. и рис.2).

В данной статье предлагается идея инновационного способа в получении обогащенного твердого топлива новым качеством этот процесс осуществляется усовершенствованной пиролизной установкой и предлагается технологии переработки низкосортных углей южного региона.

Предлагаемый способ получения достигается с помощью пиролизной установки, которая представлена на рис. 3. Данная усовершенствованная пиролизная установка (ПУ) разработана в институте природных ресурсов южного отделения НАН КР, которая осуществляет обогащения низкосортных углей и при этом одновременно улучшается, основные параметры углей и получается новый продукт – полукокс и пиролизный газ.



Отличительной чертой предлагаемой усовершенствованной пиролизной установки является то, что в данной установке одновременно происходит процесс обогащения как кускового угля, так и угольной мелочи с доступом воздуха и без доступа кислорода. Она проста по конструкции, менее энергоемкая, эффективна в работе по сравнению с известными аналогами, так как одновременно можно получить одну и ту же продукцию из кусковой и угольной мелочи, а также улучшает экологию. Кроме того, в процессе пиролиза можно получить

горячую воду, так как конструкция пиролизера состоит из двух слоев, а это позволит увеличить круг пользователей. В известных конструкциях пиролизных установок полукокс и пиролизный газ, получаемый из угля, низкокалорийный, для повышения производительности и качества получаемой продукции в данной конструкции предусмотрено паровоздушное дутье. В процессе пиролиза пар подается с воздухом одновременно и при этом улучшается сам процесс получения окончательного продукта – полукокса и пиролизного газа [3].

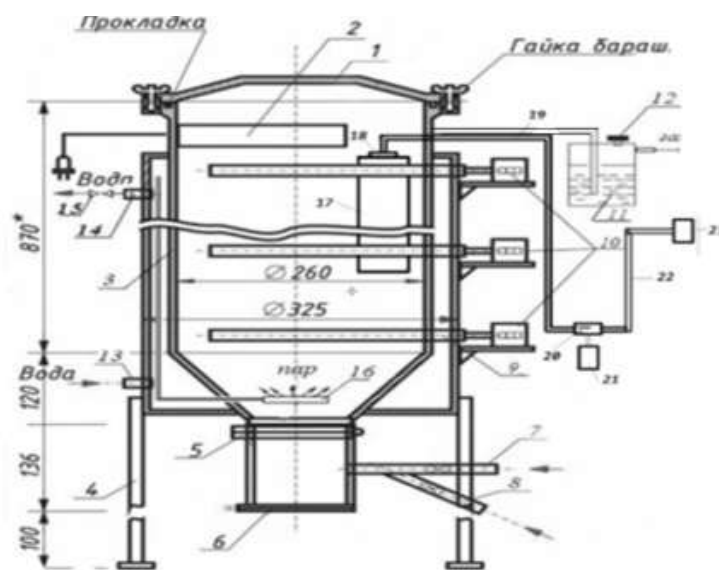


Рис.3. Усовершенствованная пиролизная установка: 1 – крышка пиролизной установки, 2 – устройства для розжига, 3 – двухслойный корпус пиролизера, 4 – рама пиролизной установки с водяной рубашкой, 5 – колесник, 6 – съемник готовой продукции, 7 – патрубок воздушного дутье, 8 – патрубок для подачи газа, 9 – патрубок для термоматчика, 10 – цифровой термоматчик, 11 – водный затвор, 12 – крышка водяного затвора, 13, 14 – вход и выход воды, 15 – регулировочный кран водяного пара, 16 – патрубок водяного пара, 17- пиролизер без доступа кислорода, 18- крышка пиролизера, 19, 22 – соединительные патрубки, 20 – тройник распределитель, 21 – сосуда отработанных веществ, 23 – приемник для готовой продукции (технического) газа.

Применение готовых известных конструкций пиролизных установок в промышленности особых экономий нам не даст, причина это высокая стоимость установок и сложности обслуживания пиролизных установок при получении окончательного продукта полукокса.

В научных работах Сафина Р.Г., Загирова А.Н., Сотникова В.Г. произведена обзор, анализ и переработка органических отходов в пиролизное топливо. Авторы работ отмечают, что благодаря термической переработке растительных отходов предприятия деревообрабатывающего комплекса могут не только безопасно утилизировать отходы, но и получать дополнительную прибыль, что, в свою очередь, положительно скажется на развитии предприятия в целом [4, 5].

Представленная конструкция пиролизной установки это экспериментальная установка, на данный момент времени Кыргызстан нуждается таких установках. Для решения данной проблемы нам необходимы спонсорские поддержки для изготовления пиролизных установок.

#### Технология для получения обогащенного топлива из низкосортных углей южного региона:

- предварительно выбирается исследуемая марка угля и далее производится обогащения, в котором выбранный уголь очищается от каменных включений, если она имеется в составе угля;

- производится промывка и сушка угля, далее просеивание и разделения на фракции: более 10мм и менее 3 мм;

- затем, производятся технический анализ исследуемых углей;

- исследуемый уголь большего размера загружаем отдельно в пиролизную установку, а внутри ее устанавливаем вторую пиролизную установку без доступа кислорода (предварительно заполняем ее объем исследуемым углем);

- загружаем основную пиролизную установку до уровня нагревательного устройства и когда произойдет процесс горения угля в пиролизной установке снимаем нагревательную установку и затем закроем крышку пиролизной установки;

- в патрубок для термодатчика установим цифровой термодатчик с помощью которого будем наблюдать процесс прохождения термохимической реакции внутри основной пиролизной установки;

- в верхней боковой части основной установки приварена патрубок для выхода летучих веществ, на ее конец патрубка соединяем гибкий шланг для выхода летучих газов из пиролизной установки, а второй конец гибкого шланга пропустим через бачок с водой, которая выполняет функцию очистителя летучих газов;

- к патрубку воздушного дутья соединяем компрессор, с мощностью 0,5 Вт и ее подключаем в электрическую сеть;

- когда из верхней выходной патрубки пиролизной установки начинает выходить, летучие вещества показывающий начала процесса облагораживания угля и при этом мы включаем все измерительные приборы;

- процесс облагораживания угля или вся термохимическая реакция разложения угля сопровождается до получения полукокса, а окончания процесса подтверждается выходом сперва летучего газа, а затем пиролизного газа.

Для нашего случая выбрана уголь Алайского месторождения Кызыл-Булак, а для облагораживания угля без доступа кислорода принята уголь марки Торгой-булак и определены технические характеристики исходных углей, результат до начала и после облагораживания представлены в табл.1.

**Таблица 1 – Результаты технического анализа исследуемых углей**

Месторождение углей	Теплотворность, ккал/кг ( $Q_6^a$ )	Влажность, % ( $W^a$ )	Зольность, % ( $A^a$ )	Выход летучих веществ, % ( $V^{daf}$ )	Содержание серы % ( $s_{общ}$ )
Показатели угля до облагораживания					
Кызыл-Булак	5812	7,3	8,1	30,1	0,9
Торгой-булак	6245	4,9	16,2	30,9	0,7
Показатели угля после облагораживания					
Кызыл-Булак	6655	1,2	14,6	23,7	0,7
Торгой-булак	7130	0,4	20,4	20,3	0,5

**Результаты экспериментальных исследований:** Кызыл-Булак, масса исходного угля была 22кг, а после пиролиза она составила 15,1 кг, повышения теплотворности составила 12,67% (Алайское месторождение). Торгой-булак масса исходного угля 2кг, а после пиролиза 1,52кг, теплотворность повысилась на 12,41% (Узгенское месторождение).

Таким образом, после проведенных теоретических и экспериментальных исследований низкосортных углей южного

региона можно сделать **следующих выводов:**

1. В теоретической части исследования изучен процесс получения качественного продукта из низкосортных углей южного региона, также приведены схемы разрушения гипотетической молекулы угля.

2. Для улучшения качественного окончательного продукта в процессе облагораживания угля использовано усовершенствованная пиролизная установка и разработана технология для получения

облагороженного топлива из низкосортных углей южного региона.

3. В экспериментальной части представлены результаты исследования низкосортного угля Алайского месторождения южного региона Кыргызстана.

4. Полученные результаты научных исследований подтверждают получения качественного продукта – полукокса и пиролизного газа из низкосортных углей при этом происходит улучшения основных свойств углей.

#### **Список литературы:**

1. [https://yandex.com/images/search?img\\_url=https%3A%2F%2Fsun9-71.userapi.com%2Fimg%2F3neS0XlUqWeYqQk1VfVPQMUi0qwqFBEF\\_gGh3Q%2FsbivH17LNIE.jpg%3Fsize%3D604x453%26quality%3D96%26sign%3D9b8b7985bd11b6fd4aa90116ddb4347%26type%3Dalbum&lr=100979&pos=0&rpt=simage&source=serp&text=формулы%20угля](https://yandex.com/images/search?img_url=https%3A%2F%2Fsun9-71.userapi.com%2Fimg%2F3neS0XlUqWeYqQk1VfVPQMUi0qwqFBEF_gGh3Q%2FsbivH17LNIE.jpg%3Fsize%3D604x453%26quality%3D96%26sign%3D9b8b7985bd11b6fd4aa90116ddb4347%26type%3Dalbum&lr=100979&pos=0&rpt=simage&source=serp&text=формулы%20угля).

2. [https://yandex.com/images/search?img\\_url=https%3A%2F%2Fimage.slideserve.com%2F739913%2Fslide1-l.jpg&lr=10310&pos=0&rpt=simage&source=serp&text=хим%20формула%20угля](https://yandex.com/images/search?img_url=https%3A%2F%2Fimage.slideserve.com%2F739913%2Fslide1-l.jpg&lr=10310&pos=0&rpt=simage&source=serp&text=хим%20формула%20угля)

3. Шайдуллаев Р.Б., Арзиев Н.Ж, Касымбеков С.Н Усовершенствование пиролизной установки / Р.Б.Шайдуллаев, Н.Ж Арзиев, С.Н Касымбеков// Наука, новые технологии и инновации Кыргызстана. – Бишкек. №7,2020. С.9-12.

4. Сафин Р.Г., Загиров А.Н., Сотников В.Г. Переработка органических отходов в пиролизное топливо: моногр. Казань: Изд-во «Отечество», 2022. 90 с.

5. Сотников В.Г. Обзор Существующих установок для производства пиролизного топлива /В.Г. Сотников, А.Н.Загиров А.Н, Д.А. Гурьянов, К.А. Ланкин, А.Р. Хабибуллина // Системы. Методы. Технологии. – 2023. №3 (59). С.117-122.

## **3-СЕКЦИЯ**

УДК 666.32:543.7

**Абдуллаева Майрам Дукуевна<sup>1</sup>,**  
*техника илимдеринин доктору, профессор*  
**Боркочев Бакыт Маметисакович<sup>2</sup>,**  
*техника илимдеринин кандидаты, доцент, РТИАнын профессору*  
**Салиева Калипа Талипбаевна<sup>2</sup>,**  
*химия илимдеринин кандидаты доцент*  
**Калыкова Гулзада Сатывалдыевна<sup>3</sup>,**  
*улук окутуучу, ОшМУнун аспиранты*  
**Мирзараимова Гулгакы<sup>1</sup>, магистр**  
**КЫРГЫЗСТАНДЫН КЕРАМИКАЛЫК ЧИЙКИ ЗАТЫНЫН МҮНӨЗДӨМӨСҮ,**  
**КАСИЕТТЕРИ ЖАНА КОЛДОНУЛУШУ.**

**Абдуллаева Майрам Дукуевна<sup>1</sup>,**  
*доктор технических наук, профессор*  
**Боркочев Бакыт Маметисакович<sup>2</sup>,**  
*кандидат технических наук, доцент, профессор РАЕ*  
**Салиева Калипа Талипбаевна<sup>2</sup>,**  
*кандидат химических наук, доцент*  
**Калыкова Гулзада Сатывалдыевна<sup>3</sup>,**  
*старший преподаватель, аспирант ОшГУ*  
**Мирзараимова Гулгакы<sup>1</sup>, магистр**  
**ХАРАКТЕРИСТИКА, СВОЙСТВА И ПРИМЕНЕНИЕ**  
**КЕРАМИЧЕСКОГО СЫРЬЯ КЫРГЫЗСТАНА**

**Abdullaeva Mairam Dukuyevna<sup>1</sup>,**  
*Doctor of Engineering Sciences, Professor*  
**Borkoev Bakyt Mametisakovich<sup>2</sup>,**  
*Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor,*  
*Professor at the Russian Academy of Natural Sciences*  
**Salieva Kalipa Talipbaevna<sup>2</sup>,**  
*Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor*  
**Kalykova Gulzada Satyvaldyevna<sup>3</sup>,**  
*Senior Lecturer, Postgraduate Student at Osh State University*  
**Mirzaraimova Gulgaki<sup>1</sup>, master's degree**  
**CHARACTERISTICS, PROPERTIES, AND APPLICATIONS**  
**OF CERAMIC RAW MATERIALS IN KYRGYZSTAN**

<sup>1</sup>*Ош мамлекеттик университети, Ош, Кыргыз Республикасы*

<sup>2</sup>*Кыргыз Түрк “Манас” университети, Бишкек, Кыргыз Республикасы*

<sup>3</sup>*Борбор Азия эл аралык медициналык университети,*  
*Манас, Кыргыз Республикасы*

<sup>1</sup>*Ошский государственный университет, Ош, Кыргызская Республика*

<sup>2</sup>*Кыргызско-Турецкий университет «Манас», Бишкек, Кыргызская Республика*

<sup>3</sup>*Центрально Азиатский международный медицинский университет,*  
*Манас, Кыргызская Республика*

<sup>1</sup>*Osh State University, Osh, Kyrgyz Republic*

<sup>2</sup>*Kyrgyz-Turkish Manas University, Bishkek, Kyrgyz Republic*

<sup>3</sup>*Central Asian International Medical University,*  
*Manas, Kyrgyz Republic*

**Аннотация.** Бул эмгекте Кыргызстандын түштүгүндөгү керамикалык чийки заттын мүнөздөмөлөрү, түзүлүшү жана касиеттери изилденип, керамика өндүрүшүндөгү потенциалдуу колдонуу чөйрөлөрү келтирилген. Керамикалык материалдарды өндүрүү үчүн бул сырьёлорго кызыгуу алардын уникалдуу технологиялык, техникалык, эксплуатациялык жана физика-химиялык касиеттеринен келип чыгат. Перспективдүү кендер аныкталып, оптималдуу керамикалык композициялар сунуш кылынды. Үлгүлөрдүн физикалык-химиялык, минералогиялык жана технологиялык касиеттери изилденген.

**Ачкыч сөздөр:** керамика, чопо чийки заты, композиттер, шамот, отко чыдамдуулук.

**Аннотация.** В данной работе рассмотрены характеристики, структура и свойства керамического сырья Южного Кыргызстана и определены перспективы его применения в керамическом производстве. Интерес к этим видам сырья для производства керамических материалов обусловлен их уникальными технологическими, техническими, эксплуатационными и физико-химическими свойствами. Установлены перспективные месторождения и рекомендованы оптимальные составы керамических масс. Исследованы физико-химические, минералогические и технологические свойства образцов.

**Ключевые слова:** керамика, глинистое сырье, композиты, шамот, огнеупорность.

**Abstract.** This paper examines the characteristics, structure, and properties of ceramic raw materials from southern Kyrgyzstan and identifies potential applications in ceramic production. Interest in these raw materials for the production of ceramic materials stems from their unique technological, technical, operational, and physicochemical properties. Promising deposits are identified, and optimal ceramic body compositions are recommended. The physicochemical, mineralogical, and technological properties of the samples are studied.

**Keywords:** ceramics, clay raw materials, composites, fireclay, refractoriness.

### Киришүү

Заманбап технологиянын актуалдуу маселеси - баалуу касиеттери бар металл эмес жана ресурс үнөмдөөчү чийки зат катары классификацияланган жергиликтүү минералдарды пайдалануу менен жаңы көп функциялуу жана структуралык композиттик материалдарды түзүү болуп саналат.

Керамика жана курулуш өнөр жайын сырьё менен камсыз кылууда металл эмес минералдар маанилүү роль ойнойт.

Кыргызстандын жер казынасы турмуш-тиричилик чөйрөсүндө жана өнөр жайдын ар кандай тармактарында табигый же кайра иштетилген түрдө колдонулган металл эмес сырьенун ар кандай түрлөрүнө бай [1].

Кыргызстандын аймагында 568 чопо тектердин кендери жана көрүнүштөрү катталган, алар лесс сымал чопо, чопо, аска сымал аргиллит чополору, каолиндер жана чопо сланецтерден турат. [2, 3].

Керамика өндүрүшүндө салттуу түрдө колдонулуучу жогорку сапаттагы керамикалык сырьё барган сайын аз болуп баратат. Азыркы учурда алюмосиликатты керамика — фарфор, фаянс жана башка буюмдарды алуу үчүн традициялык эмес

компоненттерди колдонуу кеңири өсүүдө. Чопо жана чопо минералдарынын уникалдуу касиеттери өнөр жайлык кызыгууну жараткан кеңири таралган табигый материалдар, айрыкча алар оңой жеткиликтүү, кымбат эмес жана уулуу эмес.

Отко чыдамдуу буюмдарды өндүрүүдө негизги ингредиент болуп адатта шамот менен айкалышкан отко чыдамдуу чопо саналат.

Бул изилдөөдө чопо жана чопо минералдары, кварц жана кум сыяктуу керамика үчүн металл эмес минералдык ресурстарды камтыган Үчкурт фарфор ташы, Кара-Корумдун волластонити, Көк-Мойнок жана кварц-каолин кумдары Ташкөмүр чопосу, Абшыр чопосу, Кара-Кече отко чыдамдуу чополору жана башка бир катар кендер талкууланат.

Салттуу эмес волластонит чийки заты көп максаттуу колдонууга ээ. Жаңы-Жол (Үчкурт) волластонит кени Жалал-Абад облусунун Аксы районунда, Карасуу дарыясынын төмөнкү агымынын оң жээгинде, Жаңы-Жол кыштагынан 3 км батыш тарапта жайгашкан.

Илимий адабияттарда жана патенттерде ар кандай кендердин каолиндик чополордун

негизинде алюмосиликатты отко чыдамдуу заттарды синтездөө тармагындагы изилдөөлөр боюнча көптөгөн эмгектер бар.

Авторлордун жумушунда [4] жергиликтүү компоненттердин жана алардан алынган керамикалык массалардын физика-химиялык жана технологиялык касиеттери изилденген. Модификацияланган массаны колдонуу жана жакшыртылган технология керамикалык буюмдардын сапатын бир кыйла жакшырта ала тургандыгы көрсөтүлдү.

Авторлордун [5] макаласында металлдык толтургучтун жогорку курамы бар чополордун негизиндеги керамикалык композиттик материалдарды жарым кургак престөө, андан кийин кургатуу жана күйгүзүү ыкмасы менен алуу идеясы сунушталган.

Авторлор тобунун эмгегинде [6] шамоттон отко чыдамдуу материалдарды өндүрүүнү изилдөөдө партиянын төмөнкү курамы колдонулган: негизги толтургуч болуп шамоттун 2-3 мм фракциясы - 60%; майда бүртүкчөлүү шамот (0,3-0,4 мм) - 6%; чопо суспензиясы (14% суу) Белое Глинище кенинен (Казакстан) чопо негизинде - 34%. Шамоттон отко чыдамдуу кирпичтер төмөнкү технологиялык көрсөткүчтөр менен алынган: көзөнөктүүлүгү 10,2%, бекемдиги - 20,4 МПа, шлактарга туруктуулугу 2,2 мм.

**Бул изилдөөнүн максаты** жергиликтүү металл эмес материалдардын касиеттерин баалоо жана алардын керамикалык материалдарды өндүрүү үчүн жарамдуулугун аныктоо болуп саналат.

**Изилдөөнүн объектиси жана ыкмасы** Изилдөө предмети катары Үчкурт кениндеги фарфор ташы, Кара-Корумдун волластонити, Ташкөмүр, Кара-Кече, Абшыр чополору, Көк-Мойнок чопосу жана кварц-каолин кумдары саналат.

**Материалдар жана изилдөө ыкмалары.** Үлгүлөрдүн фазалык составын жана структуралык мүнөздөмөлөрүн белгилөө үчүн физика-химиялык аналитикалык методдорду колдонуу менен баштапкы чийки заттын структурасы изилденген. Аларга рентгендик фазалык анализ, петрографиялык анализ, электрондук микроскопия, дифференциалдык термикалык анализдер жасалып, технологиялык жана механикалык көрсөткүчтөрү изилденди.

### **Жыйынтыктар жана талкуу.**

Биздин геологиялык изилдөөлөрүбүз боюнча, Үчкурт фарфор ташы негизинен майда бүртүкчөлүү кварц жана серициттен турат. Фарфор ташынан жана чоподон жасалган керамикалык үлгүлөрдүн күйүү температурасы чийки заттын курамындагы темирге жараша болот. Үчкурт кенинен фарфор ташы менен байытылган керамикалык массалар үчүн оптималдуу күйгүзүү температурасы 1200°C түздү.

Биздин изилдөөлөр Ташкөмүр кенинин тилкелүү бөлүгүндөгү чополорду турмуш-тиричиликтеги фарфор жана фаянс буюмдарын өндүрүү үчүн колдонууга болоорун аныктады, анткени ингрдиенттердин бардык параметрлери мамлекеттик стандартка ылайык келет.

Кара-Корумдун волластонитин заманбап өндүрүштүн көптөгөн тармактарында колдонууга болот. Рентген фазасынын анализи псевдоволластониттин модификациясынын линиялары 1200°C күйгүзүлгөн үлгүлөрдө гана пайда болоорун аныктады, бул полиморфтук трансформациянын башталышын жана анын кайра кайтарылбастыгын көрсөтөт.

Волластониттин фарфордун структурасына жана механикалык касиеттерине тийгизген таасири фарфордун курамындагы волластониттин салмагын 5%тен 20%ке чейин өзгөртүү менен изилденген.

Жергиликтүү чопо кендери, мисалы, Көк-Мойнок жана Көк-Мойнок районунун кварц-каолин кумдары изилденген.

Кара-Кече, Көк-Мойнок, Таш-Көмүр жана Абшыр кендеринин отко чыдамдуу чополорун пайдалануу менен шамоттук керамикалык буюмдарды өндүрүү үчүн табигый Көк-Мойнок чопосу шамоттун ордуна сыналган.

Жарым кычкыл отко чыдамдуу материалдарды алуу үчүн Көк-Мойноктун кварц-каолин кумдары, Таш-Көмүр жана Абшырдын 800–950°C күйгүзүлгөн чополору колдонулган.

Бул композициялардын механикалык касиеттерин шамоттук керамика үчүн келтирилген ГОСТ 390-83 боюнча бекемдик көрсөткүчтөрү менен салыштыруу жергиликтүү сырьёлордун негизиндеги керамика ийилүүчү бекемдиги боюнча

стандарттуулардан кем эмес экендигин көрсөттү.

Үлгүлөрдүн көзөнөктүүлүгү да ченемдик талаптарга жооп берет. Термикалык соккуга туруктуулукту өлчөөлөр көрсөткөндөй, эң эффективдүү курам 1000°C жылуулук соккусуна туруштук бере алат, стандарттык шамоттуу керамикага (1050°C) салыштырууга болот. Калган үлгүлөр 1000°C температурада 60-65% бекемдигин жоготуу менен төмөнкү жылуулук туруктуулугун көрсөттү. Бул төмөндөөнү керамикалык материалдардагы тешикчелердин кош ролу менен түшүндүрүүгө болот: буюмдун жалпы бекемдигин төмөндөтүү менен бирге, алар жаракалардын жайылышын алдын алат, ички чыңалууну азайтат жана термикалык соккуга туруктуулукту жогорулатат.

Эксперименттик жыйынтыктар боюнча изилденүүчү композициялардын көзөнөктүүлүгү термикалык туруктуулугуна таасир этүүчү негизги фактор экенин көрсөтүп турат.

Сыналган керамикалык композициялар отко туруктуулугун 1580°C ден 1600°C ге чейинки диапазондо көрсөтүп, шамот-

тон жасалган буюмдардын ШУС жана ПВ категорияларына туура келет. Бул материалдар 1250°Cге чейинки температурада колдонууга сунушталат, мында алар кошумча кичирейбестен термикалык туруктуулугун сакташат.

Химиялык курамы ( $Al_2O_3$  курамы) боюнча синтезделген отко чыдамдуу материалдар ГОСТ 28874-20004 жарым кычкыл отко чыдамдуу материалдарга коюлган талаптарга жооп берет.

#### **Корутунду**

Жергиликтүү материалдар өзүнүн негизги параметрлери боюнча ГОСТтун талаптарына жооп берет жана импорттук сырьену алмаштыра алат. Жергиликтүү чополорду кварц жана талаа шпаттары менен айкалыштыруудан тыгыз, бышык, көзөнөктүүлүгү аз керамика алынат. Бул аймактык керамикалык өндүрүштү өнүктүрүүгө мүмкүнчүлүктөрдү ачат.

Эксперименттик изилдөөлөр Кыргызстандын түштүгүндөгү каолинит сымал чополорду керамикалык алюмо-силикатты отко чыдамдуу буюмдарды өндүрүү үчүн колдонуунун максатка ылайыктуулугун жана потенциалын аныктады.

#### **Адабияттардын тизмеси:**

Центрально Азиатский Геопортал. Веб сайт: <http://www.geoportal-kg.org/ru/index.php/geology/mineral-resources/raw-materials>

Кулакова Н. В., Заярнюк Е. Н., Синицина В. А., Минеральная сырьевая база строительных материалов Кыргызской ССР-Фрунзе- 1989.

Жекишева С.Ж., Мундусбаева Б.С. Новые и нетрадиционные виды природных минеральных ресурсов Кыргызстана и перспективы их использования для создания многофункциональных материалов и изделий. — Бишкек, 2010,- 129 с.

Оптимизация технологии получения керамических изделий на основе местных компонентов / Б. М. Боркочев, А. М. Жердев, К. Т. Макаева, В. Н. Эртель // Инженер: научное и периодическое издание Инженерной академии Кыргызской Республики. – 2010. – № 1. – С. 109-112. – EDN RZVITC.

Лымарь Е. А. Новые композиционные материалы на основе каолиновых и монтмориллонитовых глин //Технические науки–от теории к практике. – 2013. – №. 17-2. – С. 21-26.

Исагулов А.З. Исследование технологии изготовления шамотных огнеупорных изделий в производственных условиях / А.З. Исагулов, М.К. Ибатов, В.Ю. Куликов, Св.С. Квон, Е.П. Щербакова // Труды Карагандинского государственного технического университета, 2020, №1 (78), с.28-32.

УДК 621.564:621.785.92(575.2)(043.3)

**Алимгазин Алтай Шурумбаевич<sup>1</sup>,**  
*Академик, доктор технических наук, профессор*  
**Шопаева Айман Амановна<sup>1</sup>,**  
*PhD докторант*  
**Абдуллаева Майрам Дукуевна<sup>2</sup>,**  
*доктор технических наук, профессор*  
**Сулейменов Канат Балтабаевич<sup>3</sup>,**  
*инженер*

**ИНТЕГРАЦИЯ СИСТЕМ УТИЛИЗАЦИИ СБРОСНОГО ТЕПЛА ГРЭС В КОММУНАЛЬНУЮ  
ИНФРАСТРУКТУРУ: КЕЙС ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ МИКРОРАЙОНА «УСОЛЬСКИЙ»  
Г. ПАВЛОДАР С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ**

**Алимгазин Алтай Шурумбаевич<sup>1</sup>,**  
*Академик, доктор технических наук, профессор*  
**Шопаева Айман Амановна<sup>1</sup>,**  
*PhD докторант*  
**Абдуллаева Майрам Дукуевна<sup>2</sup>,**  
*доктор технических наук, профессор*  
**Сулейменов Канат Балтабаевич<sup>3</sup>,**  
*инженер*

**ЖЫЛУУЛУК ЭЛЕКТР СТАНЦИЯЛАРЫНЫН ЭКИНЧИ ДАРАЖАДАГЫ ЖЫЛУУЛУГУН  
КОММУНАЛДЫК ИНФРАСТРУКТУРАГА ИНТЕГРАЦИЯЛОО: ПАВЛОДАР ШААРЫНДАГЫ  
“УСОЛЬСКИЙ” МИКРОРАЙОНУНУН ЫСЫК СУУ МЕНЕН КАМСЫЗДОО МИСАЛЫ  
(ЖЫЛУУЛУК НАСОСТОРУН КОЛДОНУУ АРКЫЛУУ)**

**Alimgazin Altay Shurumbaev<sup>1</sup>,**  
*The Academician, Doctor of Technical Sciences, Professor*  
**Shopaeva Aiman Amanovna<sup>1</sup>,**  
*PhD doctoral student*  
**Abdullayeva Mairam Dukuyevna<sup>2</sup>,**  
*Doctor of Technical Sciences, Professor*  
**Kanat Baltabaevich Suleimenov<sup>3</sup>**  
*Engineer*

**INTEGRATION OF WASTE HEAT RECOVERY SYSTEMS OF THERMAL POWER PLANTS  
INTO URBAN INFRASTRUCTURE: CASE STUDY OF HOT WATER SUPPLY F  
OR THE “USOLSKY” DISTRICT OF PAVLODAR USING HEAT PUMPS**

<sup>1</sup>*Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева (ЕНУ), Астана,  
Республика Казахстан*

<sup>2</sup>*Институт природных ресурсов им. А.С. Джаманбаева ЮО НАН КР ПКР, Ош,  
Кыргызская Республика*

<sup>3</sup>*ТОО «IT&HP-EcoQuat», Астана, Республика Казахстан*

<sup>1</sup>*Л.Н. Гумилев ат. Евразия улуттук университети (ЕУУ), Астана, Казахстан Республикасы*

<sup>2</sup>*КРП КР УИА ТБнүн А.С. Джаманбаев ат. Жаратылыш байлыктары институту,  
Ош, Кыргыз Республикасы*

<sup>3</sup>*«IT&HP-EcoQuat» ЖЧК, Астана, Казахстан Республикасы*

<sup>1</sup>*The Eurasian National University named after L.N. Gumilyov (ENU),  
Astana, Republic of Kazakhstan*

<sup>2</sup>*The Institute of Natural Resources named after A.S. Dzhamanbaev of the SB NAN KR PKR,  
Osh, Kyrgyz Republic*

<sup>3</sup>*LLP «IT&HP-EcoQuat», Astana, Republic of Kazakhstan*

**Аннотация.** Данное исследование посвящено анализу возможности использования низкопотенциальной теплоты охлаждающей воды Аксуской ГРЭС для обеспечения горячего водоснабжения (ГВС) микрорайона «Усольский» города Павлодар. В работе приведены результаты термодинамического и технико-экономического анализа системы на основе тепловых насосов типа «вода–вода» Mammoth MCRH-0140, использующих энергию сбросного тепла реки Иртыш. Показано, что применение ТН с коэффициентом преобразования COP  $\approx 3,6$  позволяет существенно сократить удельное потребление топлива на выработку тепловой энергии и уменьшить выбросы углекислого газа более чем на 2500 т в год. Представлены основные параметры проектируемой теплонасосной станции (ТНС), расчетные данные по энергопотреблению, экономическому эффекту и сроку окупаемости (около 5,9 лет). Внедрение предложенной схемы демонстрирует высокий потенциал интеграции низкопотенциальных источников в городскую тепловую инфраструктуру и может служить пилотным примером перехода к теплоснабжению четвертого и пятого поколений (4GDH/5GDHC) в Казахстане.

**Ключевые слова:** сбросное тепло, тепловой насос, ГРЭС, ГВС, энергоэффективность.

**Аннотация.** Бул изилдөө Аксу жылуулук электр станциясынын муздаткыч суусунун төмөн потенциалдуу жылуулугун Павлодар шаарынын “Усольский” микрорайонунун ысык суу менен камсыздоосуна пайдалануу мүмкүнчүлүгүн талдоого арналган. Иште “суу-суу” тибиндеги Mammoth MCRH-0140 жылуулук насостору негизиндеги системанын термодинамикалык жана техникалык-экономикалык анализинин натыйжалары келтирилген. Изилдөө көрсөткөндөй, жылуулук насосторунун натыйжалуулук коэффициенти (COP  $\approx 3,6$ ) жылуулук энергиясын өндүрүүдө отундун менчик сарпталышын кыйла кыскартууга жана көмүр кычкыл газынын жылдык бөлүнүп чыгышын 2500 тоннадан ашыкка азайтууга мүмкүндүк берет. Ошондой эле долбоорлонгон жылуулук насос станциясынын (ЖНС) негизги параметрлери, энергия керектөөсүнүн эсептик көрсөткүчтөрү, экономикалык натыйжа жана өзүн-өзү актоо мөөнөтү (болжол менен 5,9 жыл) көрсөтүлгөн. Сунушталган схема төмөн потенциалдуу булактарды шаардык жылуулук инфраструктурасына интеграциялоонун жогорку мүмкүнчүлүгүн көрсөтүп, Казакстанда төртүнчү жана бешинчи муундагы жылуулук менен камсыздоо системаларына (4GDH/5GDHC) өтүүнүн пилоттук үлгүсү боло алат.

**Негизги сөздөр:** экинчи даражадагы жылуулук, жылуулук насосу, ЖЭС, ысык суу менен камсыздоо, энергия натыйжалуулугу.

**Abstract.** This study analyzes the feasibility of utilizing the low-grade heat of cooling water from the Aksu Thermal Power Plant (TPP) to provide domestic hot water (DHW) for the “Usolsky” district of Pavlodar. The paper presents the results of thermodynamic and techno-economic analyses of a heat pump system of the *water-to-water* type (Mammoth MCRH-0140), which uses the waste heat of the Irtysh River. It is shown that the use of heat pumps with a coefficient of performance (COP)  $\approx 3.6$  significantly reduces the specific fuel consumption for thermal energy generation and decreases carbon dioxide emissions by more than 2,500 tons per year. The main design parameters of the projected heat pump station (HPS), calculated energy consumption, economic performance, and payback period (approximately 5.9 years) are presented. The implementation of the proposed scheme demonstrates a high potential for integrating low-grade heat sources into urban thermal infrastructure and can serve as a pilot model for the transition to fourth- and fifth-generation district heating systems (4GDH/5GDHC) in Kazakhstan.

**Keywords:** waste heat, heat pump, TPP, DHW, energy efficiency.

## Введение

Переход к низкоуглеродному развитию энергетики требует активного внедрения технологий утилизации вторичных и возобновляемых энергетических ресурсов. Одним из наиболее значимых резервов повышения энергоэффективности является использование сбросного тепла тепловых электростанций (ГРЭС и ТЭЦ), которое в настоящее время во многих странах рассеивается в окружающую среду, создавая тепловое загрязнение. Потенциал интеграции сбросного тепла в централизованные системы теплоснабжения (ЦТ) достигает до 25–30 % общего теплового потока, что открывает возможности для значительного сокращения топливных затрат и выбросов парниковых газов [1]. Системы теплоснабжения четвертого поколения (4GDH) способны эффективно использовать низкопотенциальное тепло промышленных предприятий, электростанций и сточных вод при температурных уровнях 30–60 °С [2]. Переход к 5GDH предполагает [3] децентрализацию теплосетей и использование возобновляемых источников в сочетании с крупными тепловыми насосами (ТН).

В условиях Казахстана вопрос повышения энергоэффективности имеет особую актуальность, поскольку свыше 70 % выработки электроэнергии и тепла осуществляется на угольных станциях. Потенциал использования сбросного тепла ГРЭС для нужд горячего водоснабжения (ГВС) остается значительным, особенно в северных регионах страны, где наблюдаются высокие тепловые потери в сетях и низкая температура наружного воздуха в течение большей части года. Применение крупных тепловых насосов типа «вода–вода» позволяет эффективно извлекать энергию из охлаждающей воды конденсаторов турбин электростанций [4, 5]. Анализ [6] подтверждает, что использование низкопотенциальных источников тепла может стать важным элементом перехода к низкоуглеродной экономике, особенно при модернизации существующих теплосетей.

Примером практической реализации подобных подходов в Казахстане является разработка проектов интеграции сбросного тепла на базе действующих ГРЭС в сочетании с тепловыми насосными станциями. Применение систем на основе ТН для теплоснабже-

ния городских районов в Казахстане может сократить углеродный след до 40 % [9]. При этом низкопотенциальные источники — такие как сбросное тепло конденсаторов и охлаждающих водоемов — представляют собой стабильный и возобновляемый ресурс, доступный круглый год.

Таким образом, использование сбросного тепла тепловых электростанций с применением тепловых насосов является одним из наиболее перспективных направлений развития энергоэффективных технологий теплоснабжения в Казахстане. Целью данного исследования является технико-экономическое обоснование интеграции тепловых насосов для горячего водоснабжения микрорайона «Усольский» города Павлодар с использованием низкопотенциального тепла Аксуской ГРЭС.

## Методика исследования

Объектом исследования является система горячего водоснабжения (ГВС) микрорайона «Усольский» города Павлодар. Источником низкопотенциального тепла выбрана сбросная вода Аксуской ГРЭС, температура которой изменяется в диапазоне от 10 до 25 °С в зависимости от сезона. В основу проектных решений положен принцип утилизации сбросного тепла посредством тепловых насосов (ТН) типа «вода–вода» Mammoth MCRH-0140, предназначенных для нагрева сетевой воды до температуры 60 °С.

## Схема установки тепловых насосов

В качестве источника теплоты рассматривается охлаждающая вода конденсаторов турбин Аксуской ГРЭС, сбрасываемая в реку Иртыш. Для ее отбора проектом предусмотрен береговой водозабор, оснащенный фильтрующими кожухами и насосной станцией (см. рис. 1).

Предлагаемая схема внедрения тепловых насосов предусматривает использование низкопотенциального тепла поверхностных вод реки Иртыш в районе впадения реки Усолка.

Водозабор осуществляется с правого берега реки Иртыш в устьевой зоне реки Усолка. По дну реки прокладывается напорный трубопровод соответствующего диаметра, выполненный из коррозионно-стойкого материала и снабженный теплоизоляцией для минимизации теплопотерь. Через систему

патрубок с фильтрующими кожухами, предотвращающими попадание механических примесей в оборудование, осуществляется отбор воды в объёме не менее 192–220 м<sup>3</sup>/ч. Необходимый расход и напор обеспечивают гидравлическими насосными агрегатами, работающими в непрерывном режиме.

Группа (батарея) тепловых насосов типа MCRH 0140 устанавливается на центральном тепловом пункте (ЦТП) микрорайона Усольский. Оборудование размещается в модуль-

ных контейнерах БМТУ, обеспечивающих защиту и удобство обслуживания. Электропитание агрегатов осуществляется от комплектной трансформаторной подстанции (КТП) с номинальным напряжением 0,4 кВ.

Полученная после тепловых насосов вода с температурой 55–60 °С направляется в существующую сеть централизованного теплоснабжения микрорайона Усольский через ЦТП, обеспечивая покрытие тепловых нагрузок отопления и горячего водоснабжения потребителей.

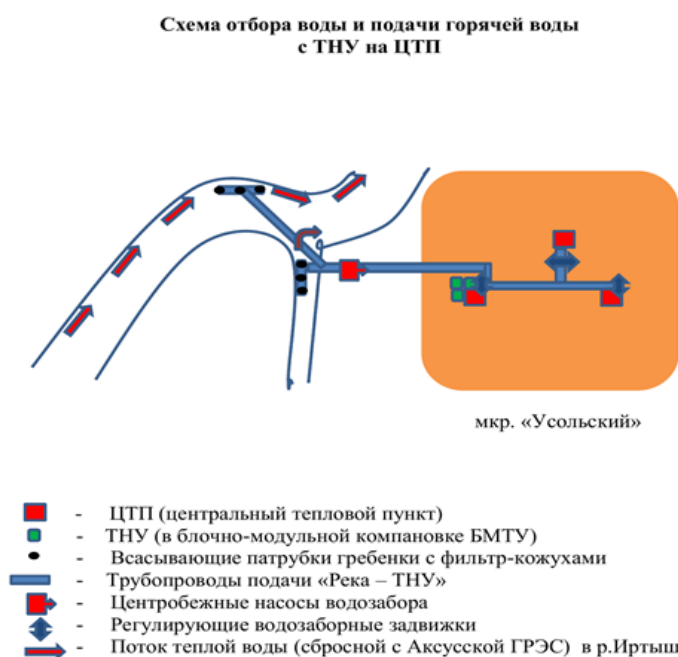


Рис. 1. Схема подключения тепловых насосов к ЦТП.

### Расчет энергетической эффективности

Тепловые насосы работают по циклу Карно, обеспечивая перенос тепла от низкопотенциального источника к потребителю с минимальными энергетическими затратами. Энергетическая эффективность установки характеризуется коэффициентом преобразования (COP), определяемым выражением:

$$COP = \frac{Q_{\text{наг}}}{W_{\text{эл}}} \quad (1)$$

где  $Q_{\text{наг}}$  — тепловая мощность на выходе из конденсатора, кВт;

$W_{\text{эл}}$  — потребляемая электрическая мощность компрессора, кВт.

Для тепловых насосов «вода–вода» в диапазоне температур 10–25 °С на входе и 55–60 °С на выходе COP составляет 3,4–3,8 [7]. Это означает, что на каждый киловатт потребляемой электроэнергии установка вырабатывает около 3,6 кВт тепловой энергии.

Расчеты выполнены с использованием методик, представленных в [7], [8] и [9], с учетом климатических характеристик региона, температуры воды в реке Иртыш и тарифов ТОО «Павлодарские тепловые сети». Приняты следующие параметры:

- тепловая нагрузка системы ГВС — 1,5 Гкал/ч ( $\approx 1745$  кВт);
- средняя продолжительность работы оборудования — 8760 ч/год;
- температура источника — 15 °С;
- температура нагрева — 60 °С;
- COP = 3,6;
- срок службы оборудования — 25 лет.

Энергоэкономическая эффективность системы оценивается по трем основным показателям:

Годовая выработка тепла ( $Q_{\text{год}}$ ) — определяется выражением:

$$Q_{\text{год}} = Q_{\text{час}} \times 8760$$

(2)

где  $Q_{\text{час}}$  — часовая тепловая нагрузка, Гкал/ч.

Годовой экономический эффект ( $\mathcal{E}$ ) — разница между затратами на традиционное и альтернативное теплоснабжение:

$$\mathcal{E} = \mathcal{Z}_{\text{баз}} - \mathcal{Z}_{\text{ТН}}$$

(3)

где  $\mathcal{Z}_{\text{баз}}$  — расходы при традиционном теплоснабжении;

$\mathcal{Z}_{\text{ТН}}$  — эксплуатационные затраты при использовании ТН.

Срок окупаемости ( $T$ ) — определяется по формуле:

$$T = \frac{K}{\mathcal{E}}$$

(4)

где  $K$  — капитальные затраты на реализацию проекта, тг.

Для комплексной оценки эффективности дополнительно использована эксергетическая эффективность ( $\eta_{\text{ex}}$ ), отражающая степень использования потенциала низко-температурного источника:

$$\eta_{\text{ex}} = \frac{COP_{\text{реал}}}{COP_{\text{Карно}}} \times 100\%$$

(5)

где  $COP_{\text{Карно}} = \frac{T_{\text{г}}}{T_{\text{г}} - T_{\text{х}}}$ , а температуры выражены в Кельвинах. При заданных параметрах  $T_{\text{г}} = 333 \text{ K}$  и  $T_{\text{х}} = 288 \text{ K}$ ,  $COP_{\text{Карно}} = 7.4$ ,

следовательно  $\eta_{\text{ex}} \approx 48\%$ , что соответствует типичным показателям для систем данного класса [8].

#### Преимущества систем с использованием тепловых насосов Mammoth:

- система не требует обязательного отдельно стоящего здания или сооружения;
- система – реверсивная, что позволяет вырабатывать холодильную и тепловую энергию в зависимости от сезона года одним агрегатом;
- обладают высокой степенью энергосбережения, энергоэффективности, установки типа «вода-вода» на 1 кВт потреблённой электроэнергии вырабатывает более 5 кВт холодильной или тепловой энергии;
- может включать функцию рекуперации, когда при работе в режиме кондиционирования выполняется утилизация тепла на подогрев воды для ГВС и других целей;
- при абсолютной экологичности (нет шума, вибрации, запахов, открытого огня) обладает высокой степенью пожара-взрывобезопасности, т.к. нет процессов горения топлива и выбросов продуктов сгорания;
- не требует прокладки топливных (газовых) магистралей и систем дымоудаления и соответствующих затрат;
- имеет высокую надёжность (в основе работы лежит цикл холодильной машины и её характерные агрегаты), ресурс не менее 15-ти лет.

#### Результаты и анализ

Для покрытия тепловой нагрузки ГВС в 1,5 Гкал/ч ( $\approx 1745$  кВт) выбраны три тепловых насоса Mammoth MCRH-0140, каждый из которых имеет номинальную тепловую мощность 600 кВт. Годовая выработка тепла при непрерывной эксплуатации составляет:

$$Q_{\text{год}} = 1.5 \times 8760 = 13\,140 \text{ Гкал/год} \quad (6)$$

Потребляемая электроэнергия, исходя из  $\text{COP} = 3.6$ , равна 485 кВт, что составляет 13–14% от традиционных энергозатрат на подогрев воды котельными установками.

Годовой экономический эффект рассчитывается как разница между эксплуатационными расходами традиционной системы и затратами при использовании ТН:

$$\mathcal{E} = 53\,478\,800 - 21\,024\,000 = 32\,454\,800 \text{ п/год} \quad (7)$$

При капитальных вложениях 193 629 600 тг срок окупаемости проекта составил:

$$T = \frac{193\,629\,600}{32\,454\,800} = 5.9 \text{ лет} \quad (8)$$

Результаты анализа свидетельствуют о высокой энергетической и экономической эффективности предлагаемого решения. Применение тепловых насосов позволяет сократить потребление топлива на 30–35 %, а также уменьшить выбросы углекислого газа на 2500–3000 т/год. Это согласуется с результатами исследований [4] и [5], показавших аналогичный уровень сокращения выбросов при утилизации тепла конденсаторов на электростанциях Китая и Европы.

Дополнительно отмечено, что применение теплонаносных систем обеспечивает повышение устойчивости теплоснабжения, поскольку источником энергии выступает возобновляемый и практически неограниченный поток охлаждающей воды. Анализ чувствительности показал, что при росте тарифов на электроэнергию до 15 % эффективность проекта сохраняется, а срок окупаемости увеличивается не более чем на 0,6 года.

Результаты исследования подтверждают возможность масштабирования предложенной схемы для других городов Казахстана с аналогичными климатическими и инфраструктурными условиями. В частности, по данным [8], аналогичные системы успешно функционируют в Швеции, Дании и Германии, где доля утилизации низкопотенциального тепла в ЦТ достигает 15–25 %.

Таким образом, интеграция тепловых насосов на базе сбросного тепла ГРЭС обеспечи-

вает не только экономию энергетических ресурсов, но и формирует основу для перехода к низкоуглеродной модели теплоснабжения в соответствии с принципами 4GDH/5GDHC.

### Обсуждение

Интеграция тепловых насосов в коммунальную инфраструктуру открывает новые возможности для перехода к системам теплоснабжения четвертого и пятого поколений (4GDH/5GDHC), основанных на низкотемпературных тепловых сетях, интеллектуальном управлении и гибридных схемах генерации [1]. Основная идея заключается в совместном использовании различных источников тепла — сбросного, геотермального, солнечного и промышленного — в единой цифровой управляемой системе, обеспечивающей минимальные потери и высокую надежность.

В условиях г. Павлодара применение сбросного тепла Аксуской ГРЭС демонстрирует техническую реализуемость концепции низкопотенциального теплоснабжения и ее высокую эффективность для существующей инфраструктуры. Сбросное тепло является стабильным источником энергии, который может использоваться в течение всего года, что особенно важно для регионов с резко континентальным климатом и продолжительным отопительным сезоном.

Результаты моделирования и расчетов показывают, что внедрение тепловых насосов позволяет снизить потребление угля и природного газа на тепловых электростанциях, а также сократить выбросы  $\text{CO}_2$  на 20–30 % по сравнению с традиционными котельными установками. Подобные показатели соответствуют данным, полученным в исследованиях [1] и [8], где отмечено, что внедрение крупных тепловых насосов в систему ЦТ способствует значительному снижению углеродного следа.

Кроме того, применение тепловых насосов создает предпосылки для децентрализации системы теплоснабжения и интеграции в «умные» сети (smart grids), что повышает надежность и устойчивость энергоснабжения [2]. В странах Северной Европы — Дании, Швеции и Финляндии — подобные технологии уже широко используются и доказали свою эффективность с точки зрения экономии топлива, экологической устойчивости и управления нагрузками [8].

Таким образом, опыт Павлодара может служить пилотным примером для других регионов Казахстана, демонстрируя, что переход к низкопотенциальным системам теплоснабжения с тепловыми насосами возможен не только в странах с развитой инфраструктурой, но и в условиях постсоветских тепловых сетей при правильной инженерной интеграции и государственной поддержке [10].

### Выводы

Проведенное исследование подтвердило техническую и экономическую целесообразность использования сбросного тепла Аксуской ГРЭС для нужд горячего водоснабжения микрорайона «Усольский» города Павлодар. Результаты расчетов и анализа показали, что применение тепловых насосов типа «вода–вода» (3×MCRH-0140) с коэффициентом преобразования COP  $\approx$  3,6 обеспечивает устойчивое покрытие тепловой нагрузки при минимальном энергопотреблении. Годовая выработка тепла составляет около 13 140 Гкал, а срок окупаемости

проекта — порядка шести лет, что соответствует показателям энергоэффективных систем теплоснабжения четвертого поколения (4GDH).

Внедрение такой схемы позволяет снизить расход традиционного топлива на 30–35 %, уменьшить выбросы углекислого газа на 2500–3000 т в год и повысить надежность горячего водоснабжения потребителей за счет децентрализации теплогенерации. Полученные результаты подтверждают, что использование низкопотенциальных источников энергии — одно из наиболее перспективных направлений модернизации теплоснабжения в Казахстане.

Предложенный подход может быть масштабирован и адаптирован для других населенных пунктов страны, особенно в регионах с развитой энергетической инфраструктурой и доступом к сбросным тепловым потокам. Реализация подобных проектов будет способствовать достижению целей национальной стратегии [11] низкоуглеродного развития Республики Казахстан до 2060 года.

### Список литературы:

1. Alimgazin A.S., Alimgazina S. G., Zhumagulov M. G. Heat pump in a new modular configuration to recover low-grade heat emissions at enterprises// E3S Web of Conferences 178, 01003 (2020) <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202017801003> HSTED-2020.
2. Lund H., Østergaard P.A., Nielsen T.B., et al. Perspectives on Fourth and Fifth Generation District Heating. *Energy*, 2021;227:120520. DOI: 10.1016/j.energy.2021.120520.
3. IEA. The Future of Heat Pumps. Paris: International Energy Agency, 2022. <https://www.iea.org/reports/the-future-of-heat-pumps>
4. Xu Z.Y., Mao H.C., Liu D.S., Wang R.Z. Waste heat recovery of power plant with large scale serial absorption heat pumps. *Energy*, 2018;165:1097–1105. DOI: 10.1016/j.energy.2018.10.052.
5. Алимгазин А.Ш., Яворовский Ю.В., Султангузин И.А., Бартенев А.И., Прищепова С.А., Трушин Е.С. Повышение энергетической и экологической эффективности теплоэлектроцентрали на основе применения абсорбционных трансформаторов теплоты// Вестник МЭИ, 2020, №4, С.89-97.
6. Pakere I., Rochas C., Porubova J., et al. Valorisation of Waste Heat in Existing and Future District Heating Systems. *Energies*, 2023; 16(19):6796. DOI: 10.3390/en16196796.
7. Bühler F., et al. Spatiotemporal and economic analysis of industrial excess heat integration into district heating. *Energy*, 2018; 151:464–476. DOI: 10.1016/j.energy.2018.03.076.
8. Schmidt D., et al. Low temperature district heating for future energy systems. *Energy Procedia*, 2017;116:26–38. DOI: 10.1016/j.egypro.2017.05.055.
9. Bartolini A., et al. Decarbonizing the heating supply of an urban district in Kazakhstan. *E3S Web of Conferences*, 2021. [https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/abs/2021/35/e3sconf\\_efe2021\\_01020/e3sconf\\_efe2021\\_01020.html](https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/abs/2021/35/e3sconf_efe2021_01020/e3sconf_efe2021_01020.html).
10. Алимгазин А.Ш., Бергузинов А.Н., Султангузин И.А., Серкпаев М.О., Ахметова И.Г., Жакишев Б.А. Перспективы применения технологий трансформации теплоты для декарбонизации углеродной экономики Республики Казахстан. // Вестник НАО «Торайгыров Университета», серия «Энергетическая», №2, 2022 г., с.21-33
11. Министерство энергетики Республики Казахстан. Стратегия низкоуглеродного развития до 2060 года. Указ Президента РК №121, 2023.

УДК 620.9:004.89

**Абдуразаков Носирбек Низомалиевич<sup>1</sup>,**  
*PhD студент*  
**Абулова Нургүл Лачынбаевна<sup>2</sup>,**  
*научный сотрудник*  
**Мирзаахмедов Мухаммадбобур Каримбердиевич<sup>1</sup>,**  
*кандидат технических наук*  
**Бекиева Света Эркинбековна<sup>3</sup>,**  
*преподаватель*  
**Ш.Таджибаева Шарифахон Хушнудбек кызы<sup>1</sup>,**  
*преподаватель*  
**Алиев Райымжан Усманович<sup>1</sup>,**  
*доктор технических наук, профессор*  
**МНОГОДНЕВНЫЙ ПРОГНОЗ БЫТОВОГО ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ**

**Абдуразаков Носирбек Низомалиевич<sup>1</sup>,**  
*PhD аспиранты*  
**Абулова Нургүл Лачынбаевна<sup>2</sup>,**  
*илимий кызматкер*  
**Мирзаахмедов Мухаммадбобур Каримбердиевич<sup>1</sup>,**  
*техника илимдеринин кандидаты*  
**Бекиева Света Эркинбековна<sup>3</sup>,**  
*окутуучу*  
**Ш.Таджибаева Шарифахон Хушнудбек кызы<sup>1</sup>,**  
*окутуучу*  
**Алиев Райымжан Усманович<sup>1</sup>,**  
*техника илимдеринин доктору, профессор*  
**ТУРМУШ-ТИРИЧИЛИКТИН ЭЛЕКТР ЭНЕРГИЯСЫН КЕРЕКТӨӨНҮН**  
**КӨП КҮНДҮК БОЛЖОЛУ**

**Abdurazakov Nosirbek Nizomalievich<sup>1</sup>,**  
*PhD student*  
**Abulova Nurgul Lachynbaevna<sup>2</sup>,**  
*researcher*  
**Mirzaakhmedov Muhammadbobur Karimberdievich<sup>1</sup>,**  
*Candidate of Technical Sciences*  
**Bekieva Sveta Erkinbekovna<sup>3</sup>,**  
*lecturer*  
**Sh. Tajibaeva Sharifakhon Khushnudbek kizi<sup>1</sup>,**  
*lecturer*  
**Aliev Raimzhan Usmanovich<sup>1</sup>,**  
*Doctor of Technical Sciences, Professor*  
**MULTIPLE-DAY FORECAST OF RESIDENTIAL POWER CONSUMPTION**

<sup>1</sup>Андижанский государственный университет, Андижан, Республика Узбекистан

<sup>2</sup>Институт природных ресурсов им. А.С. Джаманбаева ЮО НАН КР ПКР, Ош, Кыргызская Республика

<sup>3</sup>Индустриальный педагогический колледж Ошского государственного университета, Ош, Кыргызская Республика

<sup>1</sup>Андижан мамлекеттик университети, Андижан, Өзбекстан Республикасы

<sup>2</sup>КРП КР УИАнын Түштүк бөлүмүнүн А.С. Джаманбаева ат. Жаратылыш байлыктары институту, Ош, Кыргыз Республикасы

<sup>3</sup>Ош мамлекеттик университетинин Индустриалдык педагогикалык колледжи, Ош, Кыргыз Республикасы

<sup>1</sup>Andijan State University, Andijan, Uzbekistan Republic

<sup>2</sup>Institute of Natural Resources named after A.S. Dzhamanbayev SB NAS KR PKR, Osh, Kyrgyz Republic

<sup>3</sup>Industrial Pedagogical College of Osh State University, Osh, Kyrgyz Republic

**Аннотация.** Прогнозирование нагрузок является ключевым этапом для обеспечения оптимального энергообмена и надежной работы энергосистем, особенно при активной интеграции распределенных возобновляемых источников энергии (DRES). Методы глубокого обучения получили широкое распространение среди исследователей благодаря их способности обобщать сложные нелинейные колебания электропотребления. В частности, рекуррентные нейронные сети наиболее подходят для моделирования электрического потребления, так как хорошо отражают временные зависимости. Данная работа направлена на дальнейшее совершенствование моделей RNN, построенных на основе исходных и вручную созданных признаков. Горизонт прогнозирования был расширен в соответствии с практическими требованиями. Сравнены два подхода многодневного прогнозирования, при этом предложенный метод показал лучшие результаты по сравнению с альтернативным рекурсивным методом прогнозирования.

**Ключевые слова:** прогнозирование нагрузок, глубокое обучение, RNN нейронные сети, ручные признаки, горизонт прогнозирования, рекурсивное прогнозирование, многодневное прогнозирование.

**Аннотация.** Жүктөлүүнү болжолдоо оптималдуу энергия алмашууну жана энергетикалык системалардын ишенимдүү иштешин камсыз кылуунун негизги кадамы болуп саналат, өзгөчө бөлүштүрүлгөн кайра жаралуучу энергия булактарын (ДРЭС) активдүү интеграциялоо менен. Терең үйрөнүү методдору электр энергиясын керектөөнүн татаал сызыктуу эмес термелүүлөрүн жалпылоо жөндөмдүүлүгүнөн улам изилдөөчүлөр арасында кеңири таралган кабыл алынган. Атап айтканда, кайталануучу нейрон тармактары электр энергиясын керектөөнү моделдөө үчүн өзгөчө ылайыктуу, анткени алар убакыттан көз карандылыкты жакшы кармашат. Бул иш оригиналдуу жана кол менен түзүлгөн функцияларды колдонуу менен курулган RNN моделдерин андан ары өркүндөтүүгө багытталган. Болжолдоо горизонту практикалык талаптарга жооп берүү үчүн кеңейтилген. Сунушталган метод альтернативалуу рекурсивдүү болжолдоо ыкмасына караганда жакшыраак натыйжаларды көрсөткөн эки көп күндүк болжолдоо ыкмалары салыштырылды.

**Ачкыч сөздөр:** жүктү болжолдоо, терең үйрөнүү, RNN нейрондук тармактары, колго жасалган функциялар, болжолдоо горизонту, рекурсивдүү болжолдоо, көп күндүк болжолдоо.

**Abstract.** Load forecasting is a crucial step in achieving optimal power exchange and ensuring the robust operation of utilities, particularly in the active integration of distributed renewable energy sources (DRES). Deep learning methods have gained popularity among researchers due to their capability to generalize complex nonlinearity in power consumption fluctuations. Especially, recurrent neural networks are suitable for modeling electricity consumption as they have strong temporal patterns. This work aims to continue enhancing RNN models, which are built on base and manual features. The forecasting horizon has been extended to meet the requirements of practical application. Two approaches of multiple-day forecasting have been compared, and the proposed method outperformed the alternative recursive forecasting method.

**Keywords:** Load forecasting, deep learning methods, RNN model, manual feature, forecasting horizon, recursive forecasting, multiple-day forecasting.

## Introduction

Accurate residential load forecasting is essential for power system operation, demand-side management, and the integration of renewable resources. Multi-day forecasts, in particular, support scheduling and planning over horizons longer than a single day, yet remain a challenging task due to the nonlinear dependence of consumption on weather conditions and user behavior.

Traditional statistical approaches such as ARIMA and SARIMA provide limited capability in modeling nonlinear temporal dependencies. Deep learning methods, including Long Short-Term Memory (LSTM) networks, Gated Recurrent Units (GRUs), and Bidirectional recurrent models, have shown superior performance in capturing complex load dynamics. However, most studies focus on one-day-ahead prediction, with multi-step forecasting typically achieved by recursive strategies. Such approaches suffer from error accumulation, leading to degraded accuracy across longer horizons.

This paper addresses the problem of multiple-day residential load forecasting by leveraging historical consumption, daily average temperature, and a manually engineered temperature-based feature. We propose a framework that extends LSTM, GRU, and Bidirectional architectures with a TimeDistributed dense layer, enabling direct multi-output prediction and reducing error propagation. A comparative analysis with recursive day-ahead forecasting demonstrates the advantages of the proposed method in terms of accuracy and robustness for multi-day horizons.

## Related works

Many studies have been conducted on forecasting residential aggregate load over multiple days. However, it remains a challenging problem, owing especially to nonlinear temporal dependencies, exogenous influences (such as temperature), and error accumulation in multi-step forecasting. The network architectures using recurrent neural networks (RNNs), including LSTM, GRU, and bidirectional LSTM networks, strategies for multi-day or multi-step forecasting, especially recursive versus direct forecasting, and the use of engineered features or auxiliary variables such as weather, temperature, to improve performance. Recurrent neural networks, particularly LSTM and GRU, are wide-

ly used in electrical load forecasting because of their ability to capture temporal dependencies over time. For example, Tang et al. (2019) propose a short-term power load forecasting model based on multi-layer bidirectional RNNs combining LSTM and GRU [1]. The proposed method outperformed simpler RNNs and classical statistical models on multiple datasets. Cai et al. (2021) presented a stacked bidirectional LSTM model for short-term load forecasting in Applied Sciences, demonstrating that bidirectional layers capturing both past and forward temporal context help reduce forecasting error [2]. More recent work has focused on combining bidirectional recurrent architectures with attention mechanisms, convolutional components, or feature extraction modules. For instance, "Adaptive Bi-Directional LSTM Short-Term Load Forecasting with Improved Attention Mechanisms" (Yu et al., 2024) adds clustering and pattern recognition to distinguish load patterns before forecasting [3]. Another example is "Multi-feature Short-Term Power Load Prediction Method Based on Bidirectional LSTM Network" (Xiong et al., 2023), which integrates multiple input features and uses feature mining and deep convolutional layers to extract high-dimensional input features before feeding them into a BiLSTM [4]. Ke, Hongbin, Chengkang et al. (2019) apply stacked auto-encoding to pre-process load data before a GRU network to improve short-term forecasting [5]. Also, "Short-Term Aggregated Residential Load Forecasting using BiLSTM and CNN-BiLSTM" (Bohara et al., 2023) compares plain BiLSTM and CNN-BiLSTM for day-ahead horizons, showing that adding convolutional layers to extract local temporal features can improve performance in residential settings [6].

A key issue in forecasting over multiple days (or multiple steps) is how to structure the problem: whether to forecast one day ahead recursively, or to forecast the full horizon. Recursive methods are simple to implement. The model forecasts one step, then feeds that output back as input, and repeats for  $n$  steps. But several studies warn of "error accumulation" when doing so, especially over longer horizons.

Some works explore direct or multi-output forecasting. For example, the "Hybrid Distribution Feeder Long-Term Load Forecasting Method Based on Sequence Prediction" (Dong & Grumbach, 2018) investigates using LSTM and GRU in

different sequential configurations against traditional bottom-up ARIMA methods for longer time horizons [7]. Also, in the forecasting literature more generally, methods combining direct and recursive strategies (i.e. ensembling or averaging) have been proposed to balance bias and variance over different horizons. For instance, “Simple averaging of direct and recursive forecasts via partial pooling using machine learning” was used in the M5 competition to improve robustness and accuracy of multi-period forecasts [8].

More recently, there are hybrid designs combining sequence prediction (multi-step) with auxiliary features, sometimes attention weights or TCN (Temporal Convolutional Network) components, to improve direct forecasts. For instance, a 24-step forecasting model “KOA-BiTCN-BiGRU-Attentions” builds on bidirectional temporal convolutional networks and attention to produce accurate multi-step load predictions [9].

Temperature is one of the most important exogenous variables in load forecasting, especially in residential settings (heating/cooling demand). Many works use daily average temperature or similar aggregated weather variables. Feature engineering (e.g., extracting degree-days or manually created transformations) has been

shown in several cases to improve forecast accuracy by capturing nonlinear effects, thresholds, or interactions with other variables.

A recent paper, “Hybrid feature-based neural network regression method for load profiles forecasting” (2025), explicitly incorporates correlations with air temperature along with clustering and feature selection, resulting in substantial error reductions in a regional dataset [10].

**Problem statement**

In recent years, increasing attention has been directed toward time series forecasting, yet most studies remain focused on one-step-ahead predictions, which have limited practical significance. For multi-step forecasting, two main approaches are commonly employed: iterative (recursive) and direct methods.

The iterative method uses the model output at time step  $t$  as part of the input for the next step  $t+1$ . The main drawback of this approach is that forecast errors accumulate over multiple steps, potentially leading to significant deviations. In contrast, the direct method trains a separate model for each forecast horizon: one model predicts the next step, another predicts two steps ahead, and so forth. While this avoids error accumulation, its major limitation lies in the substantial computational resources required [11].

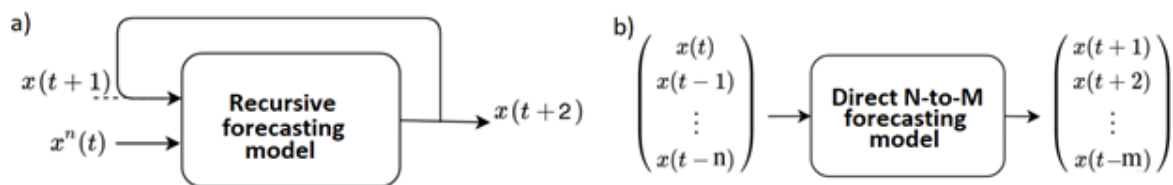


Figure 1. Principal view of recursive (a) and direct N-to-M (b) forecasting models.

This work improves the architecture of an RNN-based neural network proposed in our previous work [12]. RNN variants examined in this study employ gating mechanisms to preserve sequential dynamics across multiple time steps, enabling prediction of the subsequent value  $(N+1)$  given  $N$  inputs. For instance, an input of shape  $(10,3)$  yields an output of  $(1,1)$  when only the final hidden state of the second RNN layer is forwarded. This was implemented in Keras via `return_sequences=False`. To extend the model for multi-step forecasting, the second RNN layer is configured to return full sequences, allowing

each hidden state to be passed to subsequent dense layers. This is achieved using the Time-Distributed wrapper, which applies a specified layer (e.g., Dense, Conv2D, LSTM) independently at each time step without introducing additional computations. By treating temporal sequences stepwise rather than as a whole, the TimeDistributed mechanism enhances the model’s ability to capture time-dependent features [13].

The neural network was trained using the Adam optimization algorithm with a learning rate of 0.002, as described above. The performance of the improved architecture was evalu-

ated in both recursive and direct multi-day point forecasting settings, using MAE and MAPE met-

rics. The results of the models are presented in Table 1.

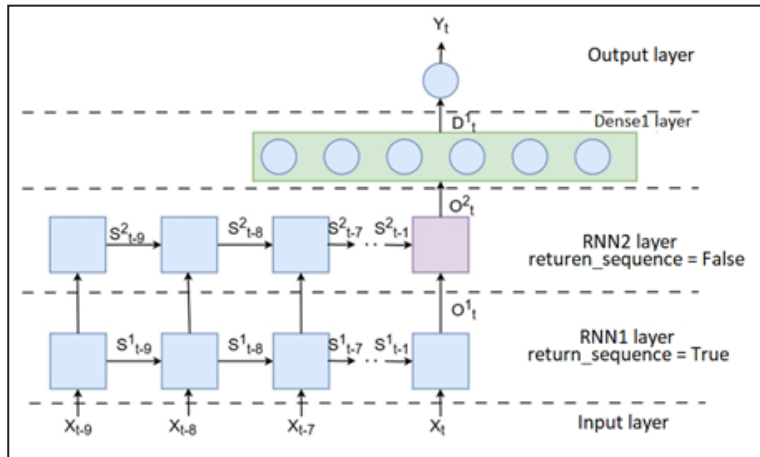


Figure 2. A many-to-one RNN network of the recursive forecasting model.

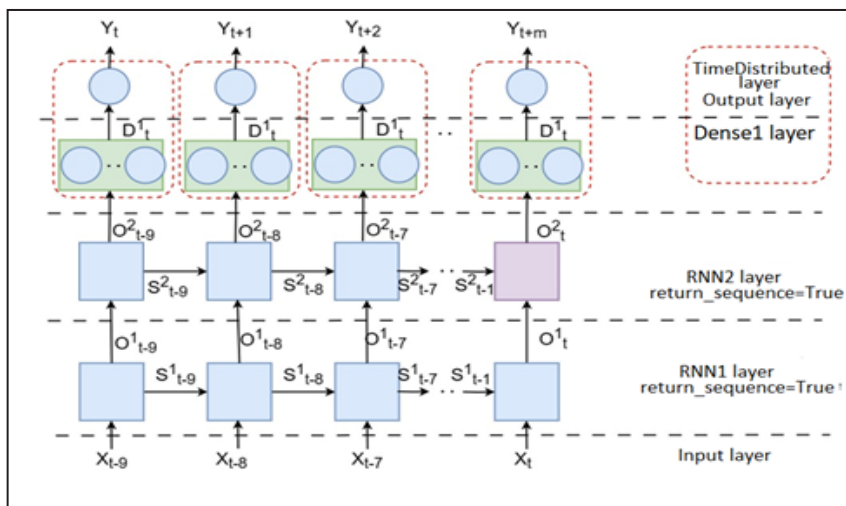


Figure 3. A many-to-many RNN network of the proposed forecasting model.

**Results and discussions**

The many-to-one architecture achieved strong performance in one-day-ahead forecasting, with an average deviation of 74–76 kWh from the actual daily consumption. However, in recursive forecasting, the error was observed to grow exponentially with the forecasting horizon. This growth can be expressed as:

$$E(n) = E_0 r^n \tag{1}$$

where,  $E(n)$  is the error at time step  $n$ ,  $E_0$  is the initial one-day-ahead error,  $r$  is the error growth rate, and  $n$  is the time step. Indeed, analysis of 10-day forecasts showed that the error accumulation in all models closely followed an

exponential trend, with a growth rate of approximately  $r \approx 1.55$  (Fig. 4).

Table 1 presents a side-by-side comparison of recursive and direct forecasting errors for LSTM, GRU, and Bidirectional LSTM models. As illustrated in Fig. 4, all three models exhibit nearly exponential error growth under recursive forecasting. By contrast, in direct multi-day forecasting, the error was considerably smaller. Although the initial error was higher than that of one-day-ahead forecasting (99.9, 154.9, and 116.9 kWh for LSTM, GRU, and BiLSTM, respectively), subsequent errors increased more gradually, following a near-linear trend with a small coefficient.

Table 1. Error accumulation in recursive and direct forecasting methods.

Metrics	Forecasting length, days	LSTM		GRU		Bidirectional LSTM	
		Recursiv	Direct	Recursiv	Direct	Recursiv	Direct
MAE, kW*soat	1	76,21	99,90	76,90	154,90	73,65	116,90
	2	183,23	200,80	204,55	210,40	166,02	207,50
	4	579,91	369,50	630,72	388,00	516,52	337,80
	6	1074,71	524,30	1114,27	557,00	897,04	500,70
	8	1656,96	615,70	1701,43	709,50	1438,01	582,60
	10	3173,54	761,60	3227,57	844,60	2601,41	654,50
MAPE, %	1	0,48	0,80	0,49	1,25	0,43	0,94
	2	1,36	1,61	1,63	1,69	1,30	1,67
	4	4,61	2,97	4,94	3,12	4,05	2,72
	6	7,94	4,22	8,05	4,48	6,85	4,03
	8	13,50	4,95	13,72	5,71	11,70	4,68
	10	23,40	6,12	25,82	6,79	18,80	5,26

The results showed that the recursive approach can be considered reliable only for short horizons of 2–4 days, where the deviation between predicted and actual consumption ranges from 516 kWh to 630 kWh. Beyond this limit, the error increases exponentially with longer

forecasting horizons. In contrast, direct forecasting demonstrates a slower error growth rate as the prediction window extends. Specifically, for a 10-day horizon, the average percentage error ranges between 5.5% and 6.8%, which can be considered acceptable in practice and implies significant potential for energy savings.

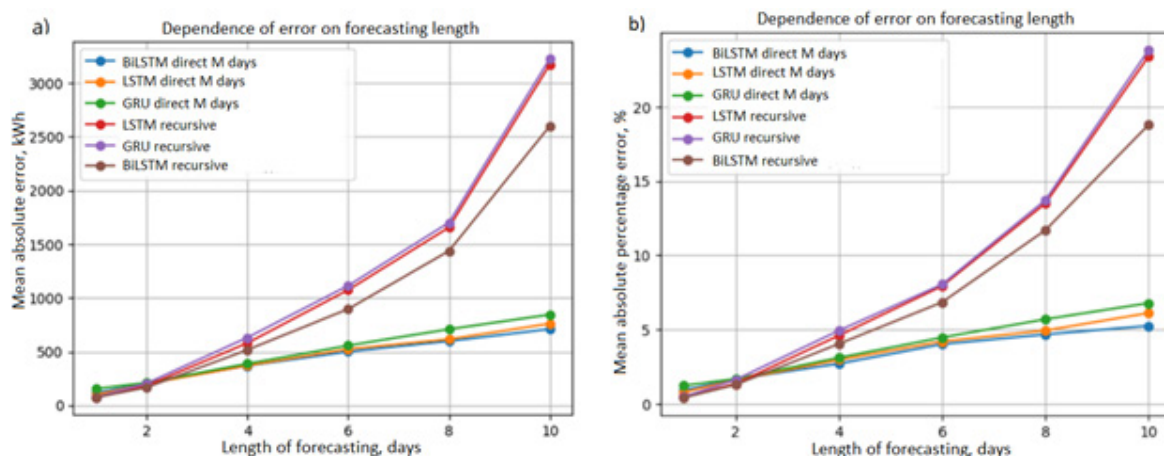


Figure 4. Change of MAE and MAPE values of recursive and direct models.

The error growth curve in direct forecasting slowed as the prediction horizon increased. Among the models, the Bidirectional LSTM consistently outperformed GRU and LSTM models, yielding lower errors. When the horizon was extended to 20 days, the Bidirectional LSTM model

achieved an average absolute error of approximately 800 kWh, corresponding to 6.4% deviation from actual consumption. In comparison, the GRU and LSTM models exhibited slightly higher errors of 975–1025 kWh, or 7.8–8.25% in percentage terms.

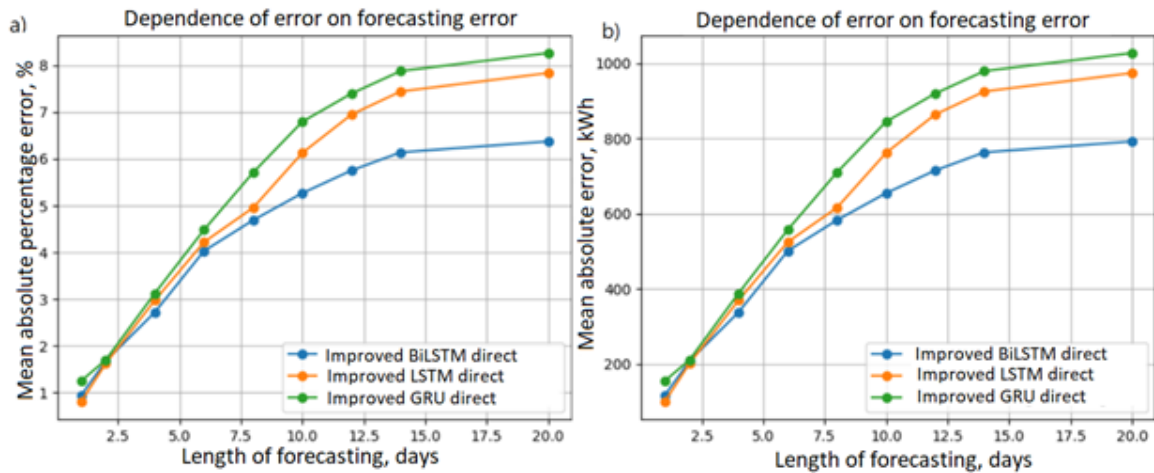


Figure 5. Change of MAE and MAPE values of the direct model.

## Conclusions

In this work, manual feature-enhanced RNN models proposed in our previous studies have been improved to extend the forecasting horizon. Forecasting several days of electricity consumption has been implemented in two ways. The first method is using a recursive deploying LSTM, GRU, and bidirectional LSTM day-ahead models, where we observed exponential devia-

tion of predicted values from actual power consumption. However, the extended architecture of the neural network allowed for a direct many-to-many forecasting. Distributing neurons of a dense layer to outputs of the RNN layer at each time successfully modelled the appropriate expected power values. Thus, MAE and MAPE of the best model on Bidirectional LSTM for the 10-day forecast decreased from around 2600kWh to 654.5 kWh and 18.8% to 5.26% respectively.

## References used:

1. Tang, X., Dai, Y., Wang, T., & Chen, Y. *Short-term power load forecasting based on multi-layer bi-directional recurrent neural network*. IET Generation, Transmission & Distribution, 2019. [IET Research Journal](#)
2. Cai, C., Tao, Y., Zhu, T., & Deng, Z. *Short-Term Load Forecasting Based on Deep Learning Bidirectional LSTM Neural Network*. Applied Sciences, 2021. [MDPI](#)
3. Yu, K., et al. *Adaptive Bi-Directional LSTM Short-Term Load Forecasting with Improved Attention Mechanisms*. Energies, 2024. [MDPI](#)
4. Xiong, N., Li, M., Li, K., Xiao, Z., Liao, L., & Wang, L. (2023). *Multi-feature Short-Term Power Load Prediction Method Based on Bidirectional LSTM Network*. In: ICNC-FSKD 2022. Lecture Notes ... Springer.
5. Ke, K., Hongbin, S., Chengkang, Z., Sun, H., & Brown, C. *Short-Term Electrical Load Forecasting Method Based on Stacked Auto-encoding and GRU Neural Network*. Evolutionary Intelligence, 2019.
6. Bohara, B., Fernandez, R. I., Gollapudi, V., & Li, X. *Short-Term Aggregated Residential Load Forecasting using BiLSTM and CNN-BiLSTM*. arXiv preprint, 2023.

7. Dong, M., & Grumbach, L. S. *Hybrid Distribution Feeder Long-Term Load Forecasting Method Based on Sequence Prediction*. arXiv preprint, 2018.
8. In, Y., & Jung, J. Y. *Simple averaging of direct and recursive forecasts via partial pooling using machine learning*. *International Journal of Forecasting*, 2022.
9. *24-Step Short-term Power Load Forecasting Model Utilizing KOA-BiTCN-BiGRU-Attentions[v1]*. Preprints.org, 2024.
10. Hybrid feature-based neural network regression method for load profiles forecasting. *Energy Informatics*, 2025.
11. G. Chevillon, "Direct multi-step estimation and forecasting," 2007. doi: 10.1111/j.1467-6419.2007.00518.x.
12. Abdurazakov, Nosirbek N., et al. "Feature Engineering for Short Term Residential Load Forecasting Using RNN-Based Neural Networks." *International Conference on Environmental Design, Material Science, and Engineering Technologies*. Cham: Springer Nature Switzerland, 2024.
13. Keras documentation on Time Distributed Layer. [https://keras.io/api/layers/recurrent\\_layers/time\\_distributed/](https://keras.io/api/layers/recurrent_layers/time_distributed/).

УДК 621.311.21:519.876.5

**Адылова Эльмира Садыкжановна,**  
*улук окутуучу*  
**ТОКТОГУЛ ГИДРОЭЛЕКТР СТАНЦИЯСЫНЫН ЭНЕРГЕТИКАЛЫК  
ПОТЕНЦИАЛЫН МОДЕЛДӨӨ**

**Адылова Эльмира Садыкжановна,**  
*старший преподаватель*  
**МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА  
ТОКТОГУЛЬСКОЙ ГИДРОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ**

**Adylova Elmira Sadykzhanovna,**  
*senior teacher*  
**MODELING THE ENERGY POTENTIAL OF THE TOKTOGUL HYDROELECTRIC  
POWER STATION**

*Б. Сыдыков ат. Кыргыз-Өзбек Эл аралык университети,  
Ош, Кыргызстан*

*Кыргызско-Узбекский Международный университет им. Б. Сыдыкова  
Ош, Кыргызстан  
Kyrgyz-Uzbek International University name of B. Sydykova  
Osh, Kyrgyzstan*

**Аннотация.** Бул жумушта Токтогул гидроэлектрдик станциясынын энергетикалык потенциалын моделдештирүү маселеси каралат. Изилдөөнүн максаты – климаттык жана гидрологиялык факторлорду эске алуу менен гидроэлектрдик станциянын кубаттуулугун жана энергия өндүрүшүн сандык баалоо. Моделдештирүүдө классикалык физикалык теңдеме  $P=\eta \cdot \rho \cdot g \cdot Q$  колдонулуп, Python тилинде компьютердик программа түзүлдү. Реалдуу гидрометеорологиялык маалыматтар (суунун агымы, напор, температура, жаан-чачын) CSV форматта интеграцияланып, ай сайынкы жана жылдык энергия өндүрүшү эсептелди. Климаттык сценарийлер аркылуу температуранын  $+3$  °C көтөрүлүшү энергия өндүрүшүн орточо 7 % кыскартары, ал эми жаан-чачындын 20 % көбөйүшү өндүрүштү 5 % га арттырары аныкталды. Streamlit платформасынын негизинде интерактивдүү веб-модель түзүлүп, параметрлерди өзгөртүү аркылуу реалдуу убакыт режиминде энергия потенциалы көрсөтүлдү. Изилдөөнүн жыйынтыгы Токтогул ГЭСинин ишин оптималдаштыруу жана климаттык өзгөрүүлөргө адаптацияланган энергетикалык стратегияларды иштеп чыгууда практикалык мааниге ээ.

**Негизги сөздөр:** Токтогул гидроэлектрдик станциясы, энергетикалык потенциал, гидроэнергетика, моделдөө, климаттык сценарийлер, гидрометеорологиялык маалыматтар, Кыргызстандын энергетикалык системасын оптималдаштыруу.

**Аннотация.** В данной работе рассматривается проблема моделирования энергетического потенциала Токтогульской гидроэлектростанции. Цель исследования — количественная оценка вырабатываемой мощности и годового производства электроэнергии с учётом климатических и гидрологических факторов. В основе моделирования использовано классическое физическое уравнение  $P=\eta \cdot \rho \cdot g \cdot Q$ , на основе которого создана компьютерная программа на языке Python. Реальные гидрометеорологические данные (расход воды, напор, температура и количество осадков) интегрированы в формате CSV для расчёта месячного и годового энергопроизводства. Климатические сценарии показали, что повышение температуры на  $+3$  °C снижает выработку энергии примерно на 7 %, тогда как увеличение количества осадков на 20 % повышает её на 5 %. На платформе Streamlit разработана интерактивная веб-модель,

позволяющая в реальном времени изменять параметры и визуализировать энергетический потенциал станции. Результаты исследования имеют практическое значение для оптимизации работы Токтогульской гидроэлектр станции и разработки стратегий адаптации энергетической системы Кыргызстана к климатическим изменениям.

**Ключевые слова:** Токтогульская гидроэлектростанция, энергетический потенциал, гидроэнергетика, моделирование; климатические сценарии, гидрометеорологические данные, оптимизация энергосистемы Кыргызстана.

**Annotation.** This paper focuses on modeling the energy potential of the Toktogul Hydroelectric Power Plant (HPP), the largest hydropower facility in Kyrgyzstan. The main objective of the study is to quantitatively assess the station's power generation capacity and annual energy output under varying climatic and hydrological conditions. The modeling approach is based on the classical physical equation  $P = \eta \cdot \rho \cdot g \cdot Q \cdot H$  implemented as a computational model in the Python programming environment. Real hydrometeorological data—including water discharge, reservoir head, temperature, and precipitation—were integrated in CSV format for monthly and annual energy calculations. Climate scenario simulations showed that an increase in temperature by +3 °C decreases power output by approximately 7%, while a 20% rise in precipitation increases it by about 5%. An interactive web-based model developed using the Streamlit platform enables real-time parameter adjustments and visualization of the hydropower potential. The obtained results demonstrate the practical applicability of the proposed model for optimizing the operation of the Toktogul HPP and for developing adaptive strategies in Kyrgyzstan's energy sector in response to climate change.

**Keywords:** Toktogul Hydropower Plant, energy potential, hydropower, mathematical modeling, climate scenarios, hydrometeorological data, optimization of Kyrgyzstan's energy system.

### Киришүү

Кыргызстандын гидроэнергетикалык потенциалы Борбор Азия аймагында эң жогору көрсөткүчтөрдүн бири болуп эсептелет. Ошол ресурстардын эң маанилүүсү — Токтогул гидроэлектрдик станциясы (ГЭС), орнотулган кубаттуулугу 1 260 МВт жана суу сактагычтын көлөмү 19,5 км<sup>3</sup> [1].

ГЭСтин иштөөсүнө климаттык факторлор, суу агымынын мезгилдик өзгөрүшү жана гидрогеологиялык шарттар түздөнтүз таасир этет [2]. Натыйжада, өндүрүлгөн энергия көлөмү жыл мезгилине жараша өзгөрөт. Бул маселени сандык жактан талдоо жана оптималдаштыруу үчүн моделдештирүү ыкмалары колдонулат [3,4].

Моделдештирүүнүн натыйжалуулугун жогорулатууда материалдык жана техникалык факторлорду эске алуу зарыл. Мисалы, Омурбекова Г.К. ж.б. [5] өз иштеринде композициялык материалдардын физико-техникалык касиеттерин изилдеп, инженердик түзүлүштөрдүн ишенимдүүлүгүн жогорулатуу маселесин карашат. Бул принциптер гидротехникалык объекттердин (мисалы, ГЭС дамбаларынын жана бетон каналдарынын) бышыктыгын эсептөөгө да маанилүү.

Бул изилдөөнүн максаты — Токтогул ГЭСтин энергетикалык потенциалын математикалык моделдештирүү аркылуу сандык баалоо жана натыйжалуулугун жогорулатуу жолдорун аныктоо. Изилдөө объектиси — Токтогул суу сактагычы жана анын гидротехникалык түзүлүштөрү ал эми предмети — суу агымы, напор жана турбина натыйжалуулугунун ортосундагы байланыш.

Гидроэлектрдик потенциалды моделдештирүүнүн үстүнөн төмөндөгүдөй окумуштуулар изилдөөлөрдү жүргүзүшкөн. Kouadio [1] SWAT моделин колдонуп, гидрологиялык агымдарды GIS технологиясы аркылуу эсептешкен. Mendieta [6] болсо ар кандай гидрологиялык моделдерди салыштырып, операциялык ишенимдүүлүккө тийгизген таасирин изилдешкен.

Бул ыкмалар Кыргызстандагы шарттарда да колдонууга ылайыктуу, анткени суу ресурстары мезгилдик жана климаттык өзгөрүүлөргө өтө сезгич [2,4].

Stoll [7] гидроэнергетикалык моделдердин чектөөлөрүн системалаштырган. Алардын пикиринде, гидроагрегаттардын эксплуатациялык ишенимдүүлүгү жана суу чыгаруу режими реалдуу системада чектөөчү параметр болуп саналат.

Hydrology Research журналында жарыяланган макалада [8] көп максаттуу ГЭС системаларынын туруктуу пландаштыруу ыкмалары сунушталган.

Кыргызстандык изилдөөчүлөрүнүн иштери да инженердик системалардын структуралык ишенимдүүлүгүн жогорулатууга арналган [5]. Мындай принциптер ГЭС жабдууларынын иштөөсүн жана узак мөөнөттүү эксплуатациясын камсыз кылууга жардам берет.

McKinney [4,9] Токтогул суу сактагычын оптималдаштыруу боюнча көп максаттуу моделди иштеп чыгышкан. Dixon [2] спутниктик маалыматтар аркылуу агымдардын динамикасын божомолдошкон.

Жаңыча ыкмаларда Baratgin [10] жана Wan [11] гидроэлектрдик операцияларды ири электр тармагы менен интеграциялоо мүмкүнчүлүктөрүн сунушташат. Бул ыкма Кыргызстан үчүн келечектүү, анткени Токтогул ГЭСи Борбор Азия энергетикалык шакегинин борбордук түйүнү болуп саналат.

#### Изилдөө методологиясы

Изилдөө үчүн төмөнкү маалыматтар колдонулат:

- Кыргызгидромет кызматынын агым боюнча көп жылдык статистикасы;

- Энергетика министрлигинин жылдык отчеттору;

- ГЭСтин техникалык паспорттук маалыматтары;

- Климаттык параметрлер: температура, жаан-чачын, буулануу ж.б. [2].

Математикалык модель

Энергетикалык потенциалды эсептөө төмөнкү формула менен жүргүзүлөт [11]:

$$P = \eta \cdot \rho \cdot g \cdot Q \cdot H$$

(1)

мында:

$P$  — кубаттуулук (Вт);

$\eta$  — натыйжалуулук коэффициенти;

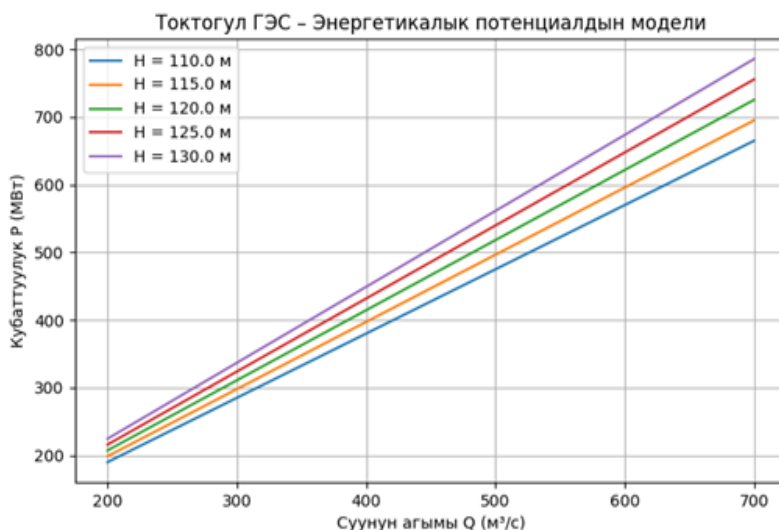
$\rho$  — суунун тыгыздыгы ( $\text{кг}/\text{м}^3$ );

$g$  — оордук күчү ( $\text{м}/\text{с}^2$ );

$Q$  — агым ( $\text{м}^3/\text{с}$ );

$H$  — эффективдүү напор (м).

Моделдештирүүдө SWAT, HEC-HMS жана MATLAB/Simulink сыяктуу программалык каражаттар колдонулат [3,6]. Гидротехникалык структуранын бышыктыгы жана материалдык туруктуулук факторлору (бетондун курамы, нымдуулук, температуралык чыңалуу) да эсепке алынат [5]. Ушул моделдин негизинде компьютердик модель түзүлүп, андан төмөнкүдөй жыйынтык алынды:



#### 1-сүрөт. Токтогул ГЭСинин энергетикалык потенциалы.

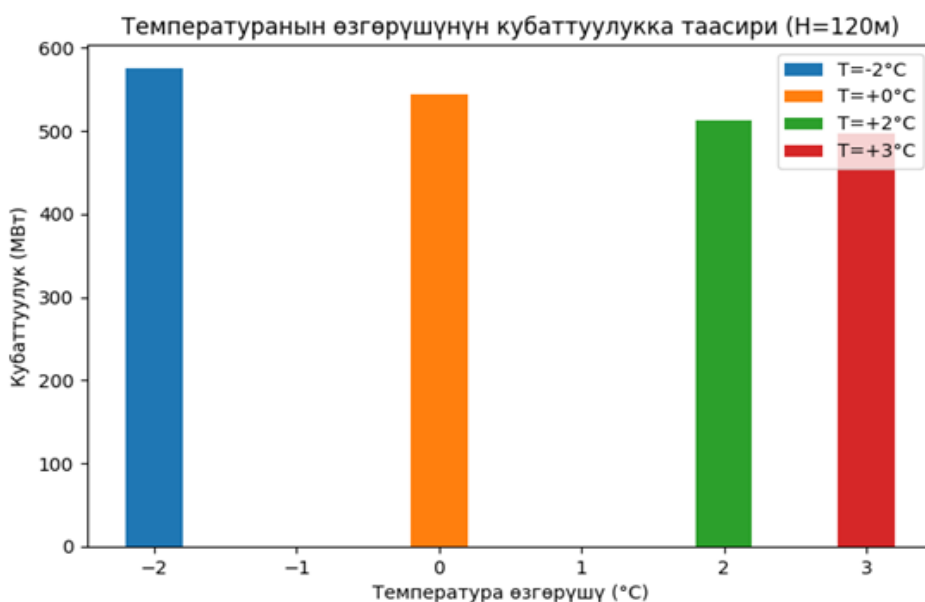
Мында:  $Q = 700 \text{ м}^3/\text{с}$  жана  $H = 125 \text{ м}$  болгондо кубаттуулук  $\approx 750\text{--}800 \text{ МВт}$ , ал эми  $\eta = 0.9$  болгондо өндүрүмдүүлүк 10 % га өсөт.

Жылдык моделдик энергия өндүрүшү  $\approx 6,3$  ТВт·саат, бул Токтогул ГЭСтин реалдуу көрсөткүчүнө жакын [1]. Климаттык өзгөрүү суу агымына түздөн-түз таасир этет. Мисалы: температура көтөрүлсө буулануу көбөйөт дагы натыйжада агым азаят, ал эми жаан-чачын көбөйсө агым көбөйөт дагы натыйжада кубаттуулук өсөт.

**1-таблица. Айлар боюнча суунун агымы, напор, температура жана жаан-чачындын көлөмү**

Айлар	Агым (м <sup>3</sup> /с)	Напор (м)	Темп. (°C)	Жамгырдын өлчөмү (мм)
Январь	320	118	-2	25
Февраль	340	118	0	30
.....	.....	.....	.....	.....

Ал эми температуранын жогорулашынын климатка тийгизген таасирин эсепке алсак, анда модель төмөндөгүдөй болот.



**2-сүрөт. Температуранын өзгөрүшүнүн кубаттуулукка тийгизген таасири**

Температура +3°C көтөрүлсө, агым  $\approx 9$  % азайып, кубаттуулук да 6–8 % төмөндөйт.

Изилдөөнүн жүрүшүндө Токтогул гидро-электрдик станциясынын (ГЭС) энергетикалык потенциалы климаттык жана гидрологиялык факторлор менен байланыштырылган математикалык жана компьютердик модель аркылуу талданды. Моделдештирүүдө классикалык формула  $P = \eta \cdot \rho \cdot g \cdot Q$  негизге алынды [11]. Бул формуланын ишке ашырылышы

Python тилинде түзүлгөн компьютердик модель аркылуу аткарылды, ал реалдуу гидромет маалыматтар менен интеграцияланып, климаттык сценарийлерди да эске алды. Негизги сценарий боюнча суунун агымы:  $Q = 400-700$  м<sup>3</sup>/с жана напор  $H = 120-126$  м диапазонунда өзгөргөндө орточо өндүрүлгөн кубаттуулук 750–950 МВт түздү. Бул көрсөткүч Токтогул ГЭСтин иш жүзүндөгү орточо кубаттуулугу ( $\approx 800$  МВт) менен шайкеш келет [1].

Суунун агымы жогорулаганда кубаттуулук пропорционалдуу түрдө өсөт. Энергия өндүрүшүнүн эффективдүүлүгү  $\eta=0.88$  кабыл алынганда, системанын натыйжалуулук диапозону 85–90% түздү. Модель реалдуу техникалык маалыматтар менен салыштырылып, тактык ката  $\pm 4.7\%$  чегинде экендиги аныкталды.

Климаттык факторлор — температура жана жаан-чачын — суу агымынын өзгөрүшүнө түз таасир этет. Температура  $+3\text{ }^\circ\text{C}$  көтөрүлгөндө агым 9% га азайып, кубаттуулук орточо 6–8% төмөндөдү; тескерисинче, жаан-чачын 20% көбөйгөндө энергия өндүрүшү 4–6% өстү.

Бул натыйжа Kouadio [3] жана Mendieta [6] изилдөөлөрүндөгү тенденциялар менен дал келет, анда гидрологиялык моделдер климаттык өзгөрүүлөргө сезгич экендиги көрсөтүлгөн. Ошондой эле Dixon [2] Токтогул суу сакта-

гычы боюнча спутниктик байкоолорго негизделген агым динамикасынын ошол эле ыкмасын тастыкташкан. Климаттык сценарийди кошкон компьютердик моделдин натыйжасында төмөнкү корреляция табылды:

$$\Delta P \approx -2,1 * \Delta T + 0,25 * \Delta P_{rain}$$

(2)

мында  $\Delta P$ — кубаттуулуктун өзгөрүшү (%),  $\Delta T$ — температуранын өзгөрүшү ( $^\circ\text{C}$ ),  $\Delta P_{rain}$ — жаан-чачындын өзгөрүшү (%). Бул формула ГЭС системасынын климаттык туруктуулугун сандык түрдө баалоого мүмкүндүк берет.

Кыргызгидромет архивинен алынган суунун агымы жана климаттык параметрлер боюнча CSV форматындагы маалыматтар (2020–2023-жж.) моделге интеграцияланды. Натыйжада ар айдагы орточо агым жана температура параметрлери боюнча эсептелген кубаттуулук төмөнкүдөй болду:

**2-таблица. Айлар боюнча эсептелген суунун агымы, напор, температура жана жаан-чачындын көлөмү**

Айлар	Орточо агым, м <sup>3</sup> /с	Напор, м	Темп., $^\circ\text{C}$	Орточо кубат, МВт
Январь	320	118	-2	610
Май	650	125	+15	930
Июль	620	124	+22	890
Декабрь	300	118	-3	580

Жылдык моделдик энергия өндүрүшү 6.34 ТВт\*саат деп эсептелди, бул Токтогул ГЭСтин реалдуу көрсөткүчүнө өтө жакын [1].

Бул маалыматтардын негизинде түзүлгөн диаграммалар мезгилдик өзгөрүүлөрдү: жаз жана жай мезгилиндеги максималдуу өндүрүш, кышкы мезгилдеги минимум экендигин так чагылдырды. Маалыматтардын интеграциясы моделдин натыйжалуулугун тастыктады — бул ыкма чыныгы гидрологиялык процесстерди комплекстүү моделдөөгө мүмкүндүк берет.

#### Колдонулган адабияттар:

1. Toktogul Dam: [Электронный ресурс] // Wikipedia. – URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Toktogul\\_Dam](https://en.wikipedia.org/wiki/Toktogul_Dam)
2. Dixon S. G., Molden D., Mirza N. – статья в Hydrological Sciences Journal. Forecasting reservoir inflows using remotely sensed data: case of Toktogul // Hydrological Sciences Journal. – 2016. – Vol. 61, No. 3. – P. 512–523.

#### Жыйынтык

1. Токтогул ГЭСтин энергетикалык потенциалы суу агымы жана напор параметрлеринин өзгөрүшүнө түздөн-түз көз каранды.

2. Математикалык моделдештирүү реалдуу маалыматтар менен салыштырылып, анын дал келгендигин көрсөттү.

3. Гидротехникалык структуралардын материалдык сапаты жалпы ишенимдүүлүккө олуттуу таасир этери жана моделдештирүүнүн бул ыкмасы Кыргызстандагы башка ГЭСтер үчүн да универсалдуу колдонууга ылайыктуу.

3. **Kouadio C. A., Koffi A., Kone B. (2022)** – статья в международном журнале *Frontiers in Water* (издательство *Frontiers*).DOI: 10.3389/frwa.2022.844934.
4. 5. McKinney D. C., Cai X. Modeling and optimization for the Toktogul Reservoir. – University of Texas, 1997. – 112 p.
5. **Омурбекова Г. К.**, и др. Физико–технические основы создания композиционного материала (бетона) // Известия Национальной академии наук Кыргызской Республики. – 2023. – № 8. – С. 125–130.
6. **Mendieta J. D. P., González R. L., Silva F.** Impact of different hydrological models on hydroelectric operations planning // статья в журнале *Renewable Energy* (издательство Elsevier). – 2024. – Vol. 224. – P. 1177–1189. – DOI: 10.1016/j.renene.2024.05.011.
7. **Stoll B., Brinkman G., Mai T.** Hydropower Modeling Challenges. – NREL, 2017. – 48 p.
8. Sustainable planning of multipurpose hydropower // *Hydrology Research*. – 2022. – Vol. 54, No. 1. – P. 31–48.
9. **McKinney D. C., Cai X.** Basic Optimization Models for Water and Energy Systems. – Austin, 1999. – 72 p.
10. **Baratgin L., Foti R., Danon Y.** Modeling hydropower operations at the scale of a power grid // *Hydrology and Earth System Sciences*. – 2024. – Vol. 28. – P. 5479–5495.
11. **Wan W., Zhao G., Chen S.** Hydraulic potential energy model for hydropower operation // *Water Resources Research*. – 2020. – Vol. 56. – Article No. e2019WR026062.

УДК 622.33

**Алдашева Нуржамал Тунаевна,**  
*кандидат технических наук, доцент*  
**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА КАМЕННОГО УГЛЯ  
УЗГЕНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (ЧАНГЕНТ)**

**Алдашева Нуржамал Тунаевна,**  
*техника илимдеринин кандидаты, доцент*  
**ӨЗГӨН КЕНИНДЕГИ (ЧАНГЕНТ) ТАШ КӨМҮРДҮН ГРАНУЛОМЕТРИЯЛЫК  
КУРАМЫН АНЫКТОО**

**Aldasheva Nurzhamal Tunaevna,**  
*Candidate of Technical Sciences, Associate Professor*  
**DETERMINATION OF THE GRANULOMETRIC COMPOSITION OF COAL UZGEN DEPOSIT  
(CHANGENT)**

*Ошский технологический университет им. М.М. Адышева,  
Ош, Кыргызская Республика*

*М.М.Адышева ат. Ош технологиялык университети,  
Ош, Кыргыз Республикасы*

*Osh Technological University named after M.M.Adyshev,  
Osh, Kyrgyz Republik*

**Аннотация.** В работе представлены результаты определения гранулометрического состава каменного угля Узгенского месторождения (Чангент) методом сухого ситового анализа. Рассмотрены теоретические основы гранулометрического анализа, методы отбора проб и обработки экспериментальных данных. Получены количественные характеристики распределения частиц по размерам и построена кривая гранулометрического состава. Установлено, что мелкие фракции (0,4–0,063 мкм) составляют до 70% исследуемого образца, что определяет их перспективность для получения особо чистого угля, применяемого в технологических исследованиях электропроводимости.

**Ключевые слова:** гранулометрический состав, каменный уголь, ситовой анализ, фракция, частицы, методы анализа, порошок, дисперсные материалы, степень измельчение, ячейка.

**Аннотация.** Бул жумушта Өзгөн кенинин (Чангент) таш көмүрүнүн гранулометриялык курамын кургак усулда электе талдоо аныктоонун жыйынтыктары берилген. Эксперименттин жыйынтыктарын, үлгүнү текшерүүгө алынуунун усулдары жана гранулометриялыкталдоонун назарияттык негиздери каралган. Бөлүкчөлөрдүн чоңдуктарына (ченемдерине) жараша бөлүнүүлөрүнүн сандык мүнөздөмөлөрү алынган жана гранулометриялык курамдын кештеси (ийри сызыгы) тургузулган. Изилденүүчү үлгүнү 70% га чейин майда бөлүкчөлөр (0,4–0,063 мкм) түзөрү аныкталган, бул алардан электр өткөрүмдүүлүктү изилдөөчү технологияларда колдонулуучу абдан таза көмүрдү алуунун келечеги бардыгын аныктайт.

**Ачкыч сөздөр:** гранулометрикалык курамы, көмүр, электик талдоо, фракция, бөлүкчөлөр, талдоо ыкмалары, унтук, дисперстик материалдар, майдалоо даражасы, көзөнөкчө.

**Annotation.** The paper presents the results of determining the granulometric composition of coal from the Uzgen deposit (Changent) by dry sieve analysis. The theoretical foundations of granulometric analysis, methods of sampling and processing of experimental data are considered. Quantitative characteristics of the particle size distribution are obtained and a curve of the granulometric composition is constructed. It was found that small fractions (0.4–0.063 microns) account for up to 70% of the test sample, which determines their prospects for obtaining high-purity coal used in technological studies of electrical conductivity.

**Key words:** granulometric composition, coal, sieve analysis, fraction, particles, analysis methods, powder, dispersed materials, degree of grinding, cell.

### Введение

Методы определения гранулометрического состава различных материалов регламентируются стандартами и техническими условиями. Для ситового анализа применяются специальные наборы сит с определёнными размерами ячеек, предназначенные для анализа различных материалов: зерна, семян, удобрений, почв, руд, угля и других веществ.

Гранулометрический состав является одним из важнейших классификационных признаков горных пород, прямо зависящим от их генезиса, возраста и условий формирования. Он во многом определяет физические, физико-химические и физико-механические свойства осадочных пород, которые служат основаниями сооружений и объектами инженерно-геологических исследований [1].

Под гранулометрическим составом горных пород подразумевается количественное содержание в породах частиц различной величины.

Гранулометрический состав нефтесодержащих пород в основном представлен частицами размером от 0,5 до 0,05 мм в диаметре.

В зависимости от размера зерен, породы разделяются на три основные группы: псаммиты, алевриты, и пелиты.

Первая группа - псаммиты состоят преимущественно из частиц размером 1- 0,1мм.

Вторая группа - алевриты, включает частицы размером 0,1-0,01 мм.

Третья группа- пелиты, в которую входят частицы размером от 0,1-0,001 мм [2].

Рассматриваются пути решения проблемы экологии, в том числе возможные варианты оценки состояние загрязнения водной и воздушной среды городов выбросами промышленных предприятий, котельных, тепловых электрических станций и транспорта.

Предложены и описаны новые методы, конструкция и принцип действия новых авторских устройств для анализа дисперсного состава порошкообразных и пылевидных материалов, Применение предложенных устройств позволяет значительно сократить продолжительность времени анализа по сравнению с известными методами, из-

ложенными в научной литературе. В одном устройстве разделение частиц по размерам производится методом седиментометрии, в другом-по скорости движения частиц в воздушной среде [3].

Определение гранулометрического состава имеет очень важное техническое, технологическое и гигиеническое значение. Размеры частиц и их распределение по крупности влияют почти на все свойства пылевидных и порошкообразных материалов. Диапазон размеров частиц, встречающихся при анализе гранулометрического состава, охватывает более пяти порядков -от крупнозернистых материалов до коллоидов. Отсюда видно, не только важность этой области, но также и ее проблематики. При анализе гранулометрического состава подлежат решению две задачи:

- определение размеров частиц;
- определение доли частиц в процентах, различных классов крупности.

Методы анализа гранулометрического состава можно классифицировать следующим образом:

- исследование под микроскопом;
- ситовой анализ;
- метод разделения частиц по скорости их осаждения;
- счетный метод (определение числа частиц),
- центробежный метод разделение;
- более простые методы разделения (декантация, отсеивание).

**Отбор пробы.** Пробы для определения гранулометрического состава следует отобрать из сравнительно большого количества материала, а иногда из потока аэродисперсий или суспензий. Проба должна быть представительной, поэтому при отборе возникает технические и статические проблемы. Наиболее чистый источник погрешностей при отборе пробы-расслоение потока.

Ситовой анализ основан на механическом разделении частиц по крупности на решетках или ситах с отверстием различной величины на классы крупности. Материал, который остался на сите после просева называется «остаток», а прошедший через сито-«проход» [4].

Определение степени измельчения. Взвешивают около 20 г угля. Просеивают вручную на сите с сеткой 01К по ГОСТ 6613-86 легким постукиванием сита о поверхность стола до прекращения выпадения мелкой фракции. Остаток на сетке взвешивают. Результат взвешивания в граммах записывают до второго десятичного знака. За результат анализа принимают среднее арифметическое результатов двух параллельных определений, абсолютное расхождение между которыми превышает допускаемого расхождение, равное 0,2% [5]. Гранулометрический состав угля служит важнейшей технической характеристикой качества угля. Результаты ситового анализа необходимы для решения вопросов обогащаемости и рационального использования углей, а так же для установления качественных норм топлива. При разработке технических условий результаты определения гранулометрического состава входят в обязательные требования к качеству продукции [6].

#### Экспериментальная часть

Отбор проб осуществлялся согласно ГОСТ 16094-78. Было отобрано не менее 30 проб общей массой 25 кг. Пробы сушили при температуре  $(105 \pm 5)^\circ\text{C}$ . Крупные куски угля дробили шнековой дробилкой.

Для анализа взвешивали 100 г исследуемого угля с погрешностью не более 0,1%. Использовался сухой метод ситового анализа. Применялся набор металлических сит с размерами ячеек от 0,063 до 1,0 мм (ГОСТ 3306-88). Продолжительность просева зависела от объема материала и могла достигать 60–120 минут. Гранулометрический анализ считался завершённым, если при дополнительном встряхивании в течение 2 минут масса остатка уменьшалась менее чем на 0,2%.

Остаток высыпали в чистый заранее взвешенный приемник или лист на глянце-вой бумаги, сито очищают с обеих сторон мягкой волосяной щеткой и легкими ударами очищают застрявшие в ячейках сетки частицы, которые присоединяют к остатку по окончании рассева, каждую фракцию взвешивают, обычно требуются, чтобы суммарная масса всех фракций составляла не менее 98% от массы взятой подвески. При большой точности измерения фракционного состава потери при выполнении ситового анализа рекомендуется разнести по всем анализируемым фракциям пропорционально массам. При посеве для достоверности, обычно выполняют два параллельных анализа. При этом массы соответствующих, фракций должны различаться не более чем на 1% от массы навески.

№ п/п	Порошки техногенного отхода, кек отвальный	Размеры ячеек сито
R <sub>1</sub>		сито 0,9 мкм
R <sub>2</sub>		сито 0,8 мкм
R <sub>3</sub>		сито 0,7 мкм
R <sub>4</sub>		сито 0,6 мкм
R <sub>5</sub>		сито 0,5 мкм
R <sub>6</sub>	.....	сито 0,4 мкм
R <sub>7</sub>	..... .....	сито 0,3 мкм

R <sub>8</sub>	..... .....	СИТО 0,2 мкм
R <sub>9</sub>	..... .....	СИТО 0,1 мкм  СИТО 0,063 мкм
R <sub>10</sub>		

Результаты экспериментальных данных анализа приведены в таблице 1.  
Таблица 1.

№ сито	Проведение эксперимента (просева),	Результат просева, масса остатка, в
	Получение «остатка», г	%
1	100г-100%	$R_1 = 1,98 \times 100 / 98,02 = 2\%$
2	1,98 г-R <sub>1</sub> 98,02г-100%	$R_2 = 1,9 \times 100 / 96,12 = 1,97\%$
3	1,9 г-R <sub>2</sub> 96,12, г-100%	$R_3 = 4,2 \times 100 / 94,25 = 4,5\%$
4	4,2 г-R <sub>3</sub> 91,92г-100%	$R_4 = 5,8 \times 100 / 86,12 = 6,73 \%$
5	5,8 г-R <sub>4</sub> 86,12-100%	$R_5 = 7,2 \times 100 / 78,92 = 9,1\%$
6	7,2 г-R <sub>5</sub> 78,92г-100%	$R_6 = 9,2 \times 100 / 69,82 = 13,2\%$
7	9,2 г-R <sub>6</sub> 69,72-100%	$R_7 = 19,6 \times 100 / 50,12 = 39,1\%$
8	19,6 г-R <sub>7</sub> 50,12-100%	$R_8 = 18 \times 100 / 32,12 = 56,0\%$
9	18 г-R <sub>8</sub> 32,12-100%	$R_9 = 19,6 \times 100 / 32,12 = 61,0 \%$
10	19,6 г-R <sub>9</sub> $R_{10} = 48,49 - 100 / 20,82 = 41,6$	$R_{10} = 48,49 - 100 / 20,82 = 41,$  $R_{10} = 41,6\%$

### Обработка результатов экспериментов

Результаты ситового анализа представили в таблице 2.

Таблица 2.

Порядковый номер сито	Размер ячейки	Масса фракций, гр	Остаток вещества в данном сите $R_1$ , % массы	Суммарный остаток $R_2$ ,
	сита, мкм			% массы
1	0,9	100	1,98	98,02
2	0,8	98,02	1,90	96,12
3	0,7	96,12	4,21	91,91
4	0,6	91,91	5,8	86,11
5	0,5	86,11	7,19	78,92
6	0,4	78,92	9,1	69,82
7	0,3	69,82	11,42	58,40
8	0,20	58,40	18,0	40,40
9	0,10	40,42	19,58	20,82
10	0,063	20,82	10,2	10,62

Содержание остатка  $R_i$  на каждом сите вычисляли по формуле:

$$R_i = m_i \cdot 100 / E_m,$$

где,  $m_i$  - масса остатка на данном сите,

$E_m$  - суммарная масса остатков «прохода» всех фракций после рассева. Суммарный остаток  $R_i$  для каждого сита нужно рассчитывать, прибавляя к остаткам на данном сите суммарное содержание остатков, полученных для всех предыдущих сит с большим отверстием.

По данным таблицы построили кривой зависимости гранулометрического состава в логарифмической системе координат [7].

Таблица 3

Размер сторон ячеек сетки сит, применяемых при ситовом анализе, мкм

1.Основной ряд	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5
2.Дополнительный ряд	0,4	0,3	0,2	0,1	0,063

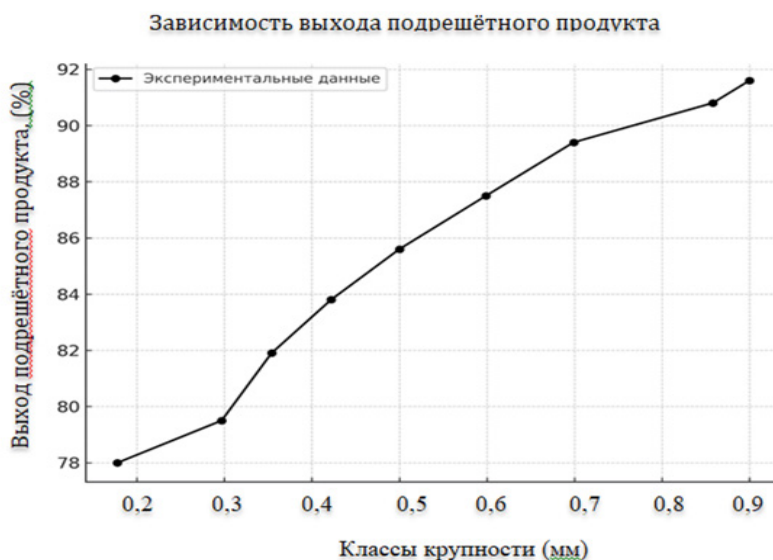


Рис 1. Кривая гранулометрического состава в логарифмической системе координат

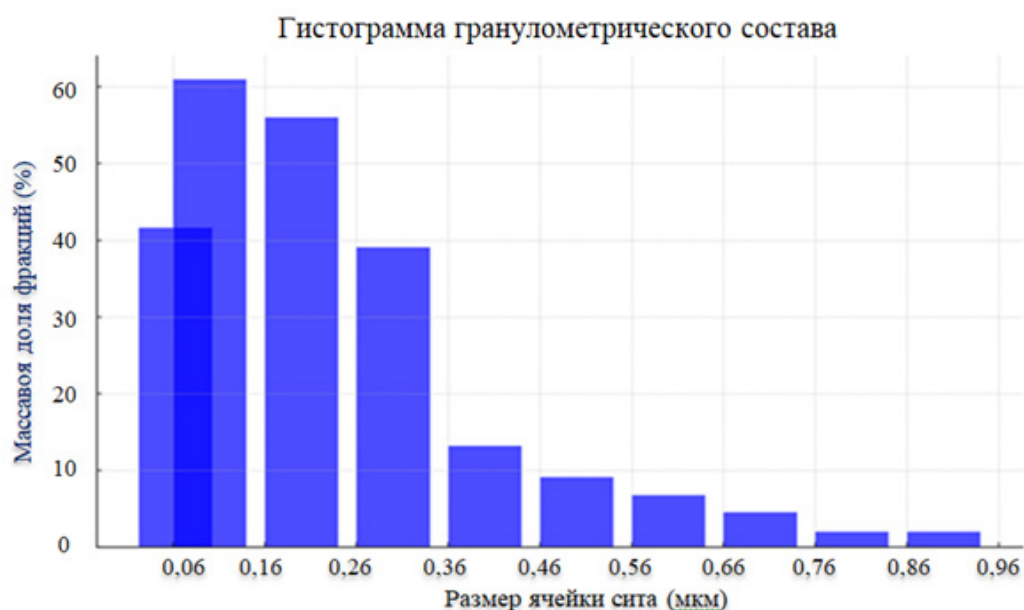


Рис 2. Гистограмма гранулометрического состава каменного угля Узгенского месторождения (Чангент)

### Выводы

1. Кривая зависимости процентного содержания частиц от их диаметра построена в логарифмической системе координат.
2. Определены пределы крупности фракций, превышающих максимальный и минимальный размеры отверстий сит.
3. Выход частиц крупностью от 0,9 до 0,5 мкм составляет около 30%.
4. Доля частиц размером от 0,4 до 0,063 мкм достигает 70%.
5. Мелкая фракция (0,4–0,063 мкм) может использоваться для получения особо чистого угля, применяемого при изучении электропроводности материала.

### Список литературы:

1. Житко А.В., Маржацкий П.Э. Методы определения гранулометрического состава грунта. Минск: БНТУ, 2017.
2. 2. Нефть, Газ и Энергетика: Определение гранулометрического состава горных пород. <https://www.tehnik.top/2021/01/01/blog-post-23.html>
3. 3. Куц В.П., Слободян С.М. Методика анализа дисперсности пыли и порошков. Вестник ТГАСУ, №2, 2014.
4. 4. Кантаев А.С., Брус И.Д. Методические указания: Определение гранулометрического состава дисперсных материалов. Томск: ТПУ, 2014.
5. 5. Гиндулин И.К., Юрьев Ю.Л. Методические указания: Технический анализ нанопористых материалов. Екатеринбург: УрГЛТУ, 2011.
6. 6. Авгушевич И.В., Сидорук Е.И., Броневец Т.М. Стандартные методы испытания углей. <https://testcoals.ru/20-1>
7. 7. ГОСТ 2093–82. Топливо твердое. Ситовой метод определения гранулометрического состава.

УДК.621.383.535.

**Комилов Муроджон Мухтаржонович<sup>1</sup>,**

*аспирант*

**Абулова Нургүл Лачынбаевна<sup>2</sup>,**

*научный сотрудник*

**Алиев Раимжон Усмонович<sup>1</sup>,**

*профессор кафедры физики конденсированных сред*

**Алиев Сухроб Раимжонович<sup>3</sup>,**

*доцент кафедры возобновляемых источников энергии*

**Мавлянова Жанара Акмырзаевна<sup>4</sup>,**

*преподаватель*

**Мирзаалимов Наврузбек Алишерович<sup>1</sup>,**

*доцент кафедры физики конденсированных сред*

**Темиров Содикжон Исакжонович<sup>1</sup>,**

*аспирант*

### **УЛУЧШЕНИЕ ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ДВУХСТОРОННЕГО СОЛНЕЧНОГО ЭЛЕМЕНТА**

**Комилов Муроджон Мухтаржонович<sup>1</sup>,**

*аспирант*

**Абулова Нургүл Лачынбаевна<sup>2</sup>,**

*илимий кызматкер*

**Алиев Раимжон Усмонович<sup>1</sup>,**

*Конденсацияланган заттардын физикасы кафедрасынын профессору*

**Алиев Сухроб Раимжонович<sup>3</sup>,**

*Кайра жаралуучу энергия булактары кафедрасынын доценти*

**Мавлянова Жанара Акмырзаевна<sup>4</sup>,**

*окутуучу*

**Мирзаалимов Наврузбек Алишерович<sup>1</sup>,**

*Конденсацияланган заттар физикасы кафедрасынын доценти*

**Темиров Содикжон Исакжонович<sup>1</sup>,**

*аспирант*

### **ЭКИ ТАРАПТУУ КҮН ЭЛЛЕТАЦИЯСЫНЫН ОПТИКАЛЫК КАСИЕТТЕРИН ЖАКШЫРТУУ**

**Komilov Murodjon Muxtarjon o'gli<sup>1</sup>,**

*PhD student*

**Abulova Nurgul Lachynbaevna<sup>2</sup>,**

*Research Fellow*

**Aliev Rayimjon Usmonovich<sup>1</sup>,**

*Professor of Physics of Condensed Materials department*

**Aliyev Suxrob Raimjonovich<sup>3</sup>,**

*Associate Professor of Department of Alternative Energy Sources*

**Mavlyanova Zhanara Akmyrzaevna<sup>4</sup>**

*teacher*

**Mirzaalimov Navro'zbek Alisherovich<sup>1</sup>,**

*Associate Professor of Condensed Materials department*

**Temirov Sodiqjon Isoqjon o'g'li<sup>1</sup>,**

*PhD student*

### **ENHANCING THE OPTICAL PROPERTIES OF BIFACIAL SOLAR CELL**

<sup>1</sup>Андижанский государственный университет, Андижан, Республика Узбекистан

<sup>2</sup>Институт природных ресурсов им. А.С. Джаманбаева ЮО НАН КР ПКР,  
Ош, Кыргызская Республика

<sup>3</sup>Андижанский государственный технический институт,  
Андижан, Республика Узбекистан

<sup>4</sup>Ошский технологический университет им. академика М.М. Адышева

<sup>1</sup>Андижан мамлекеттик университети, Андижан, Өзбекстан Республикасы

<sup>2</sup>КРП КР УИАнын Түштүк бөлүмүнүн А.С. Джаманбаева ат. Жаратылыш байлыктары  
институту, Ош, Кыргыз Республикасы

<sup>3</sup>Андижан мамлекеттик техникалык институту, Андижан, Өзбекстан Республикасы

<sup>4</sup>Академик М.М.Адышев ат. Ош технологиялык университети

<sup>1</sup>Andijan state university, Andijan, Republic of Uzbekistan

<sup>2</sup>Institute of Natural Resources named after A.S. Dzhamanbayev SB NAS KR PKR,  
Osh, Kyrgyz Republic

<sup>3</sup>Andijan State Technical Institute, Andijan, Republic of Uzbekistan

<sup>4</sup>Osh Technological University named after academician M.M. Adyshev, Osh, Kyrgyz Republic

**Аннотация.** В последние годы среди возобновляемых источников энергии широкое распространение получили солнечные энергетические установки. В частности, перспективным считается использование тепловых и электрических свойств солнечной энергии. Солнечные панели используются для преобразования солнечной энергии в электрическую. Солнечные панели состоят из небольших солнечных элементов. Солнечные элементы имеют оптические, электрические и тепловые потери. Данная исследовательская работа посвящена улучшению оптических свойств солнечных элементов. В данной работе исследования проводились с использованием двухстороннего чувствительного солнечного элемента.

**Ключевые слова:** кремний, Sentauros TCAD, оптический слой, двусторонний солнечный элемент, текстура, планарный солнечный элемент, оптические и электрические потери.

**Аннотация.** Акыркы жылдары күн энергиясы системалары кайра жаралуучу энергия булактарынын арасында кеңири таралды. Атап айтканда, күн энергиясынын жылуулук жана электрдик касиеттерин пайдалануу келечектүү болуп эсептелет. Күн батареялары күн энергиясын электр энергиясына айландыруу үчүн колдонулат. Күн панелдери кичинекей күн батареяларынан турат. Күн батареялары оптикалык, электрдик жана жылуулук жоготууларга дуушар болушат. Бул изилдөө долбоору күн батареяларынын оптикалык касиеттерин жакшыртууга багытталган. Изилдөө эки тараптуу сезүүчү күн батареясынын жардамы менен жүргүзүлгөн.

**Ачкыч сөздөр:** кремний, Sentauros TCAD, оптикалык катмар, эки беттик күн батареясы, текстура, планардык күн батареясы, оптикалык жана электрдик жоготуулар.

**Abstract.** In recent years, solar energy devices have been widely introduced among renewable energy sources. In particular, the use of thermal and electrical properties of solar energy is considered promising. Solar panels are used to convert solar energy into electrical energy. Solar panels are made up of small solar cells. Solar cells have optical, electrical and thermal losses. This research work is devoted to improving the optical properties of solar cells. In this research work, studies were conducted using a double-sided sensitive solar cell.

**Key words:** Silicon, Sentauros TCAD, optical layer, bifacial solar cell, texture, planar solar cell, optical and electrical losses.

**Introduction**

The production of silicon-based planar solar cells has been studied by scientists around the world for a long time. Among them, Thomas J, Watson Sr and G Araujo and other scientists studied the  $J_{sc}$ ,  $U_{oc}$ ,  $\eta$  and  $\mu$  of solar cells [1]. The study of all solar cells through experimental and modeling has recently come into being, these programming packages have been used to determine various parameters of solar cells. In particular, the parameters determined by Silvaco TCAD software were compared with experimental results and this gave positive results [2]. It can be seen that the calculations using the model created using the Sentaurus TCAD program overlap with the experimental results [3]. Using the Sentaurus TCAD program, contact materials and contact location algorithms for several types of solar cells were developed and positive results were shown. They determined the types of p-n junctions in them and how the density and thickness of charge carriers change [5]. In our study, simulation calculations were performed

by modeling a double-sensitive solar cell. This is because it is important to study ways to improve the efficiency of solar cells and reduce their cost. The cost of solar cells has decreased by about 50% between 2011 and 2013 [4]. Therefore, we have determined the dependence of the optical properties of a double-sided light-sensitive solar cell on several parameters by modeling it. A double-sided light-sensitive solar cell receives light from both the front and back sides. Its contacts are arranged in a narrow shape to ensure light transmission. Based on the above considerations, we aimed to conduct research on a bifacial solar cell.

**Material and methods**

We conducted the following experiment on the double-sided sensitive solar cell under normal conditions. At the beginning of the experiment, the front, back, and both surfaces were exposed to the normal light of AM1.5g sunlight. The following geometric structure was selected for this type of double-sided sensitive solar cell. The geometric parameters of a bifacial light-sensitive solar cell are given in Table 1 below.

1-table

	Width, $\mu m$	Thickness, $\mu m$	Materials type	Doping type	Input concentration
$n^+$	20	1	Silicon	Phosphorus	$10^{17}$
$p$		18		Boron	$10^{15}$
$p^+$		1		Boron	$10^{16}$

Based on the dimensions of this geometric shape, the geometric shapes of a double-sided

sensitive solar cell with a planar, textured, and anti-reflective layer coated on the textured surface layer are presented below.

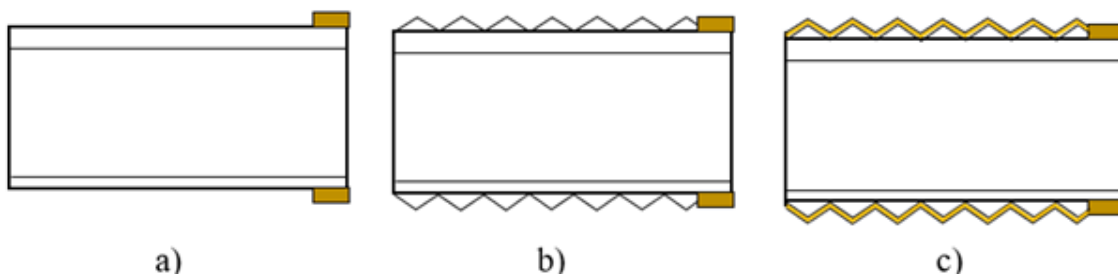


Figure 1. Geometric shapes of a double-sided sensitive a) planar, b) textured and c) textured and anti-reflective coated solar cell.

The photoelectric properties under the influence of the front light have been determined for each of the three types of solar cells mentioned above. The determination of the photoelectric properties is achieved through the I-V characteristic.

### Results and discussions

The front light effect was shown on this solar cell and the measurement results were obtained several times. The measurement results

were performed using the Sentaurus TCAD program using the modeling method. According to this, the front AM1.5G light spectrum was shown on a simple double-sided sensitive solar cell. After that, the front light effect was shown for the shape with a texture formed without a reflective layer. At the end of the experiment, calculations were performed for a sample with a texture formed and an anti-reflective layer SiO<sub>2</sub> material coated on the surface layer.

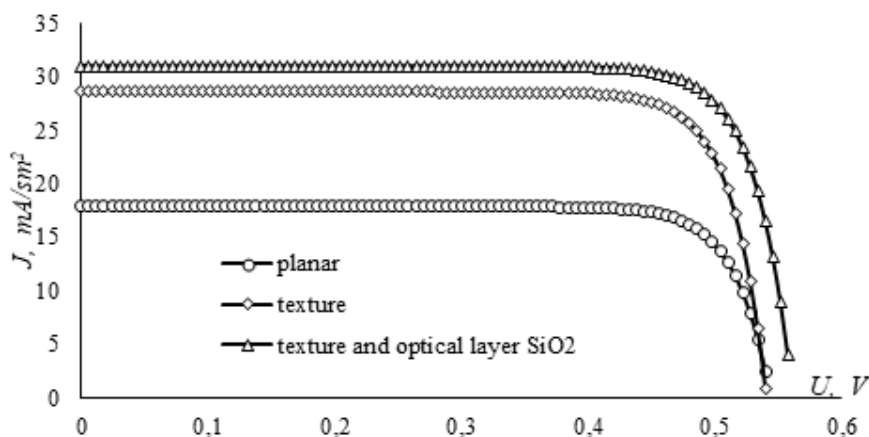


Figure 2. VAX of different structures of double-sided sensitive solar cells under forward light.

According to this graph, the current density generated by the simple planar double-sided sensitive solar cell is 17.87 mA/cm<sup>2</sup>, 28.56 mA/cm<sup>2</sup> for the textured solar cell, and 30.95 mA/cm<sup>2</sup> for the textured and anti-reflection layer coated sample on the surface layer. The results show that the simple planar double-sided sensitive solar cell absorbs light in parts far from the p-n junction when receiving light. In the textured solar cell, the light hits the textured surfaces several times, which leads to more light absorption in the surface layer.

### Conclusions

This research work aims to improve the optical properties of dual-sensitized solar cells.

Accordingly, the following quantities were determined and measured for the planar, textured, and textured surface of the solar cell with an optical layer coated on it. The combined use of the texture and the optical layer significantly increases the light absorption by many times. SiO<sub>2</sub> is selected as the optical layer material and is coated with a thickness of 100 nm, which has many applications. The results show that surface treatment is recommended to increase the light absorption properties of a bifacial solar cell. It is advisable to create irregularities in the surface layers and apply a multi-layer anti-reflection coating. In addition, the uniformity of the resulting texture and the multiple layers of optical layers applied to its surface layer prove to be highly effective.

### References:

- M Brendan, A Harry, S Nathan. Comparison of the device physics principles of planar and radial p-n junction nanorod solar cells, View online: <http://dx.doi.org/10.1063/1.1901835>
- M Salem, A Zekry, A shaker. Investigation of Base High Doping Impact on the npn Solar Cell Microstructure Performance Using Physically Based Analytical Model, Digital Object Identifier 10.1109/ACCESS.2021.3053625

J. Gulomov, R. Aliev, J. Kakhkhorov, B. Tursunov. Suns-Voc Characteristics of Silicon Solar Cell: Experimental and Simulation Study DOI: 10.21272/jnep.15(2).02019

A Louwen, W Sark, R Schropp, A Faaji. A cost roadmap for silicon heterojunction solar cells  
Atse Louwen a,n, Wilfried van Sark a, Ruud Schropp b, André Faaij <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2015.12.026>.

M. Abduvohidov, R. Aliev, J Gulomov. A study of the influence of the base thickness on photo-electric parameters of silicon solar cells with the new TCAD algorithms doi: 10.17586/2226-1494-2021-21-5-774-784.

УДК: 3937

**Касимахунова Анархан Мамасадиковна<sup>1</sup>,**  
*профессор, доктор технических наук*

**Ли Юнь<sup>2</sup>,**

*инженер высшей категории (уровня профессора)*

**Мамарасулов Кудратбек Шухратбекович<sup>1</sup>,**  
*аспирант PhD*

**ДИНАМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ЭНЕРГИИ  
 ПРИ ИМПУЛЬСНОМ ОСВЕЩЕНИИ**

**Касимахунова Анархан Мамасадиковна<sup>1</sup>,**  
*профессор, техникалык илимдердин доктору*

**Ли Юнь<sup>2</sup>,**

*профессор деңгээлиндеги улук инженер*

**Мамарасулов Кудратбек Шухратбек уулу<sup>1</sup>,**  
*PhD аспиранты*

**ИМПУЛЬСТУК ЖАРЫКТАНДЫРУУ ШАРТЫНДАГЫ ФОТОЭЛЕКТР ЭНЕРГИЯ  
 ӨЗГӨРТКҮЧТӨРҮНҮН ДИНАМИКАЛЫК ПРОЦЕССТЕРИ**

**Kasimakhunova Anarkhan Mamasadikovna<sup>1</sup>,**  
*Professor, Doctor of Technical Sciences*

**Li Yun<sup>2</sup>,**

*Professor-level Senior Engineer*

**Mamarasulov Qudratbek Shukhratbek ogli<sup>1</sup>,**  
*PhD student*

**DYNAMIC PROCESSES OF PHOTOELECTRIC ENERGY CONVERTERS UNDER  
 PULSED ILLUMINATION**

<sup>1</sup>Ферганский государственный технический университет, г. Фергана, Узбекистан

<sup>2</sup>Энергетическая компания «China Southern Power Grid», г. Шэньчжэнь, Китай

<sup>1</sup>Фергана мамлекеттик техникалык университети, Фергана шаары, Өзбекстан

<sup>2</sup>«China Southern Power Grid» энергетикалык компаниясы, Шэньчжэнь шаары, Кытай

<sup>1</sup>Fergana State Technical University, Fergana, Uzbekistan

<sup>2</sup>China Southern Power Grid Company, Shenzhen, China

**Аннотация.** Макалада стационардык эмес жарыктандыруунун моментинде алардын көлөмүндө болуп жаткан физикалык процесстерди математикалык моделдөөнүн жардамы менен фотоэлектрдик энергияны өзгөрткүчтөрдү теориялык изилдөөнүн ыкмалары жана натыйжалары берилген. Эркин электрон чогултуу коэффициентинин динамикасы, чыңалуунун өзгөрүшү жана импульсивдүү жарыктын таасири астында фототоктун маанилери көрсөтүлгөн. Моделдөө иштеринин негизги параметрлери көрсөтүлүп, ар кандай жутуу коэффициенттери жана жарык интенсивдүүлүгү үчүн  $Q(t)$  жана  $u(t)$  убакыттын өзгөрүшү симуляция жолу менен көрсөтүлгөн. Изилдөөлөр Фоктун мыйзамын жана Эйнштейндин мамилелерин, Грин жана Гаусс функцияларын колдонушкан.

**Негизги сөздөр:** фотоэлектрдик өзгөрткүч, пульсация, жарык, стационардык эмес, программа, модель, моделдөө, параметрлер.

**Аннотация.** В статье представлены методы и результаты теоретических исследований фотоэлектрических преобразователей энергии с использованием математического моделирования физических процессов, происходящих в их объеме в моменты нестационарного освещения. Показана динамика коэффициента сбора свободных электронов, изменения напряжения и значений фототока под воздействием импульсного освещения, обусловленного импульсным освещением. Указаны основные параметры для моделирования, а также показано изменение во времени коэффициента сбора  $Q(t)$  и напряжения  $u(t)$  при различных коэффициентах поглощения и интенсивности света. В исследованиях использовались закон Фокка и соотношения Эйнштейна, функции Грина и Гаусса.

**Ключевые слова:** фотоэлектрический преобразователь, пульсация, освещение, нестационарный, программа, модель, моделирование, параметры.

**Abstract.** The article presents the methods and results of theoretical studies of photovoltaic energy converters using mathematical modeling of physical processes occurring in their volume at moments of non-stationary illumination. The dynamics of the free electron collection coefficient, voltage changes and photocurrent values under the influence of impulsive illumination due to pulsed illumination are shown. The main parameters for modeling work are indicated, and the simulation shows the time variation of the collection coefficient  $Q(t)$  and voltage  $u(t)$  for different absorption coefficients and light intensities. The studies used Fock's law and Einstein's relations, Green's and Gauss function.

**Keywords:** photovoltaic converter, pulsation, illumination, non-stationary, program, model, modeling, parameters.

### Introduction

In recent years, the global depletion of natural resources such as gas, oil, and coal, which are various forms of energy, has caused problems among the leaders of countries. As a result, there has been a need for alternative energy sources that are gifts from nature. At the heart of this need are issues such as the study, testing, and use of products with a crystalline structure. In the use of sunlight, photovoltaic cells made mainly of semiconductor materials are important, and their detailed study is a modern condition. Based on this, it is considered necessary to work on the following problem.

### Problem Statement

The study of the duration of light quanta incident on the surface of photovoltaic energy converters (PVECs) and their effect on the energy parameters of their output is important for all researchers. To date, despite the large number of studies devoted to the physical laws by which PVECs made of semiconductor materials change under the influence of light, in stationary light or under the influence of solar radiation that varies gradually throughout the day, the physical processes occurring in the volume of the photoconverter under the influence of impulsive or non-stationary light have been studied little. However, for physical science and in achieving effective results in practical work, the time dynamics of processes associated with photons and heat flows is of great importance in the design of energy converters (solar cells,

photodiodes, thermoelectric batteries, etc.) [1,2,3]. In semiconductor photovoltaic cells, the diffusion and recombination of charge carriers under the influence of light pulses or short-lived quanta determine the time evolution of the photocurrent and voltage [3,4,]. In thermal systems, the distribution of heat flux in pulsed and steady modes affects the temperature distribution and thermoelectric power. In this article, several works on the modeling of photovoltaic systems are analyzed. The articles are presented in the MATLAB/Simulink environment [5,6,7] and the analytical formulas for each model and the implementation of numerical simulation methods form the main basis of the research.

### Modeling methods

The basis of the methodology for studying the evolution of photocurrent and charge carriers under pulsed illumination conditions is the analysis of the spectral photocurrent generated in semiconductor photocells as a result of pulsed illumination and its integral effect - the accumulation coefficient  $Q(t)$  and the time-dependent evolution of the open-circuit voltage.

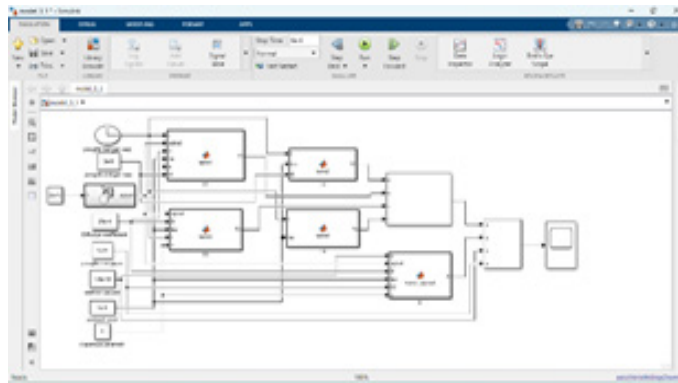
The diffusion and recombination of carriers are based on Fock's law and Einstein's relations [8,9]. The Gaussian error function [10] and the trapezoidal rule [6] are also used in the modeling:

$$\begin{aligned}
 I_f(t) &= \frac{q\alpha_0\sqrt{D\tau}E_0}{a^2D\tau-1} \left\{ \underbrace{\alpha_0\sqrt{D\tau} [1 - \operatorname{erf}(\alpha_0\sqrt{D(t-t_0)})]}_1 \exp\left(a^2D(t-t_0) - \frac{t-t_0}{\tau}\right) \right. \\
 &+ \underbrace{\operatorname{erf}\left(\sqrt{\frac{t-t_0}{\tau}}\right)}_2 - \underbrace{\alpha_0\sqrt{D\tau} [1 - \operatorname{erf}(\alpha_0\sqrt{Dt})]}_3 \exp\left(a^2Dt - \frac{t}{\tau}\right) - \underbrace{\operatorname{erf}\left(\sqrt{\frac{t}{\tau}}\right)}_4 \left. \right\} \quad (1)
 \end{aligned}$$

Here  $q=1.6 \times 10^{-19}$  C is the elementary charge of the electron,  $\alpha_0=440 \text{ m}^{-1}$  (and other values) is the absorption coefficient of light,  $D=25 \cdot 10^4 \text{ m}^2/\text{s}$  is the diffusion coefficient,  $\tau=1 \times 10^{-6} \text{ s}$  is the residence time (recombination time),  $E_0=1 \cdot 10^{24} \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$  is the energy of the light pulse,  $\alpha=1$  is the dispersion parameter,  $t_0=3 \cdot 10^{-6}$

s is the decay time of the light pulse,  $\text{erf}(x)=2/\sqrt{\pi} \int_0^x e^{-y^2} dy$  is the Gaussian error function.

Figure 1 presents the model constructed on the basis of the mentioned methodology, showing the dynamics of changes in the semiconductor photovoltaic converter under pulsed illumination.



**Figure 1. A simulink model of the dynamic response of a semiconductor photocell under pulsed irradiation**

The main parameters in modeling are:

Component	Brief description
$j(t)$ is the photocurrent density	This parameter is a product of exponential and error functions that take into account the distribution of charge carriers generated after a light pulse throughout the volume of the photoelectric converter, that is, their generation and recombination;
$Q(t)$ – collection coefficient	Integral normalization of $J(t)$ . Since it is difficult to obtain the integral in closed form, numerical integration according to the trapezoidal rule was used;
Additional parameters [11]	Electron charge ( $q = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ ), diffusion coefficient ( $D = 25 \text{ cm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ ), residence time ( $t = 1 \cdot 10^{-6} \text{ s}$ ), absorption coefficient ( $\alpha_0 = 50\text{--}440 \text{ m}^{-1}$ ) and light pulse duration ( $t = 3 \cdot 10^{-6} \text{ s}$ )
Open circuit voltage $u(t)$	Proportional to the thermal voltage and expressed as a logarithmic function of the accumulated photocurrent.

To determine the dynamic nature of electron collection in the volume of the photovoltaic converter under non-stationary illumination, the collection coefficient formula was applied:

$$Q(t) = \left(\frac{2\sqrt{D}}{\sqrt{\pi}}\right) \alpha_0 \sqrt{t}, \quad t \rightarrow 0 \quad (2)$$

For the case of pulsed illumination, the open-circuit voltage is expressed as:

$$U(t) = \frac{kT}{q} \ln \left( 1 + n_0 \int_{-\infty}^t e^{-\frac{t-t'}{\tau}} \cdot E(t') \alpha_0 \left[ 1 - \operatorname{erf} \left( \alpha_0 \sqrt{D(t-t')} \right) \right] \cdot \alpha_0^2 D(t-t') dt' \right) \quad (3)$$

was determined through this expression.

As part of the theoretical studies, a dynamic PV model based on the Green's function was used. Here, the processes of photogeneration, diffusion and recombination were studied by means of the dynamic modeling of photovoltaic cells under non-stationary lighting conditions based on the Green's function. The photogeneration rate is expressed as an exponential decrease in the absorption in the semiconductor. The evolution of the resulting excess carriers in space and time was expressed by the diffusion equation, which contains the terms photogeneration, diffusion and recombination. The equation was solved using the Green's function method and as a result, an expression for the photocurrent in terms of time was obtained; this expression covers the phases of accumulation during illumination and decay after the illumination is turned off.

Diffusion distribution via Green's function:

$$G(x, x_0, t, t_0) = \frac{1}{2\sqrt{\pi D(t-t_0)}} \exp\left(-\frac{(x-x_0)^2}{4D(t-t_0)}\right) \cdot \operatorname{erf}\left(\frac{x-x_0}{\sqrt{4D(t-t_0)}}\right) \quad (4)$$

where  $D=2.5 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{s}$  is the diffusion coefficient.  $x_0$  and  $t_0$  are the initial time and coordinates.

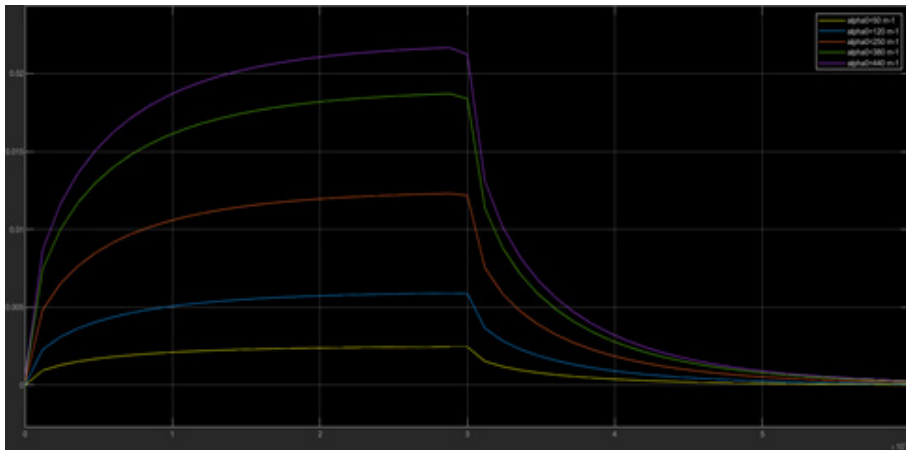
The integral normalized form of the photocurrent is defined as the coefficient  $Q(t)$ . The diffusion coefficient and residence time are assumed to be constant in the model, the p-n junction effect is limited; the case where the load resistance is included requires numerical integration.

The third theoretical approach is to determine the dynamics of charge carriers under non-stationary illumination conditions, where the dynamics of charge carriers in a photovoltaic cell under non-stationary illumination was modeled by numerically solving differential equations in the MATLAB/Simulink environment [12,13]. The spatially discretized concentration of carriers was written as the sum of the time derivative of diffusion, recombination, and photogeneration terms. The

spatial differential operator was discretized with a central differentiation scheme, and the resulting set of ordinary differential equations was integrated using the Runge–Kutta method. Three types of light signals (sinusoidal, pulsed, and linear array) were generated in the Signal Builder block.

### Results and analysis of theoretical research

Figure 2 below shows how the charge carriers in the volume of a photodiode change depending on the duration of the light when illuminated with non-stationary light.

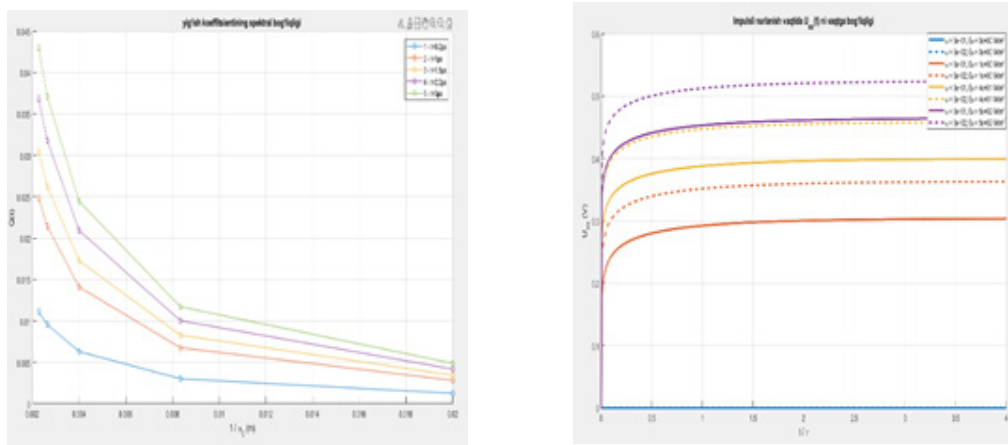


**Figure 2 – Time dependence of Q(t).**

The graph shows the dependence of the collection coefficient  $Q(t)$  on time for different absorption coefficients. It can be seen that the absorption coefficient  $Q(t)$  increases rapidly and exponentially in the time interval 0–3  $\mu\text{s}$ , i.e., carriers are collected during the light pulse. As the value of  $\alpha_0$  increases, the maximum value of  $Q(t)$  also increases: at the largest  $\alpha_0 = 440 \text{ m}^{-1}$  (black line. Note: the results are shown in colored lines because they were obtained on a computer.),  $Q(t)$  reaches its highest value. At the smallest  $\alpha_0 = 50 \text{ m}^{-1}$  values, the values of the collection coefficient remain at a lower level. After 3  $\mu\text{s}$ , the light turns off and

the decay phase begins;  $Q(t)$  decreases sharply. This indicates the dominance of diffusion and recombination processes. The interesting fact is that for almost any value of  $\alpha_0$  the values of the collection coefficient decay exponentially, but rapidly. A comparison of the obtained results shows that it closely approximates the data of [14,15] with high accuracy.

Figure 3 shows the absorption coefficients determined by simulation to determine the dynamic process in the volume of the photoelectron, and the dynamics of changes in light intensity and charge carrier residence times over time.



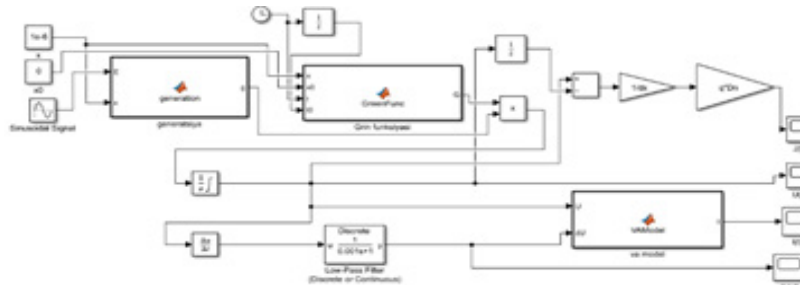
**Fig. 3. Spectral dependence of  $Q(\alpha_0)$  and time dependence of  $U_{xx}(t)$  during pulsed radiation**

The graph clearly shows that these changes occur in a sharp manner. The time-dependent changes of  $Q(t)$  and  $u(t)$  for different absorption coefficients and light intensities are almost vertical. During the illumination, the collection

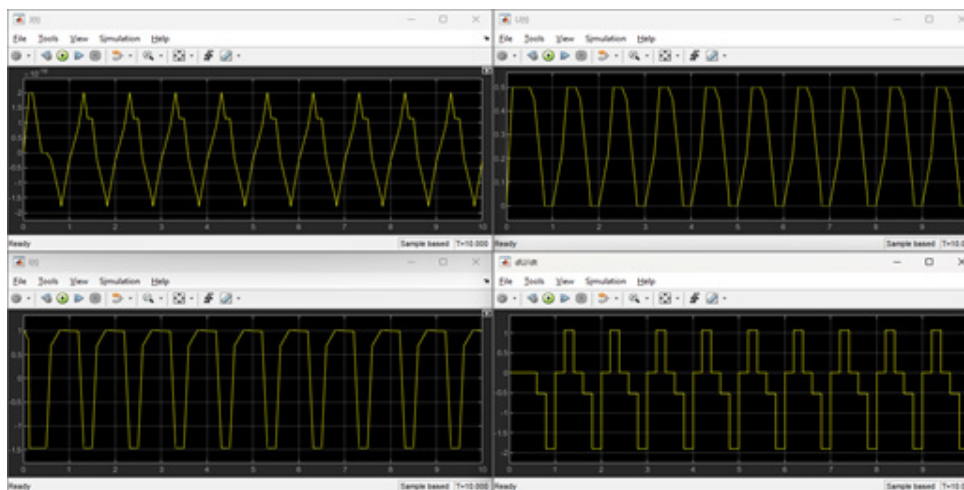
coefficient increases rapidly, and after the pulse ends, it gradually decreases due to diffusion and recombination; the open-circuit voltage reaches a maximum value and then slowly decreases. The simulation showed the time evolution of the  $Q(t)$ ,

$U(t)$  and  $dU/dt$  signals for different absorption coefficients. The collection coefficient reached a maximum value at a certain time interval, and

increasing the absorption coefficient changed the rate of collection and decay. Figures 4 and 5 show the dynamic model of the identified FEO using the Green's function.



**Figure 4. Dynamic model of photovoltaic cells based on the Green's function under non-stationary lighting conditions**

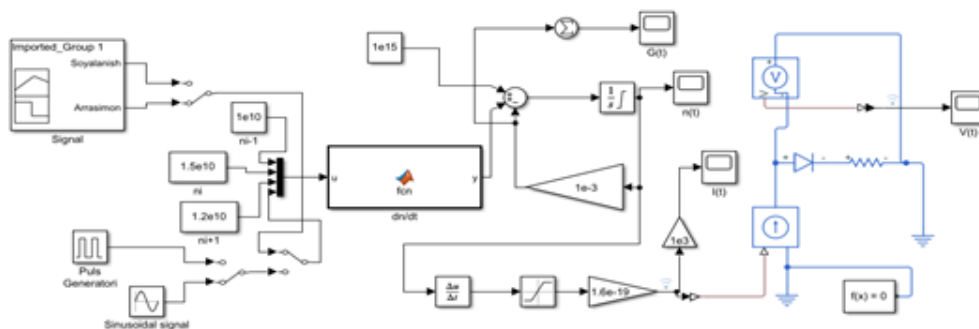


**Figure 5. Graphs of the dynamic model of photovoltaic cells based on the Green function under non-stationary lighting conditions**

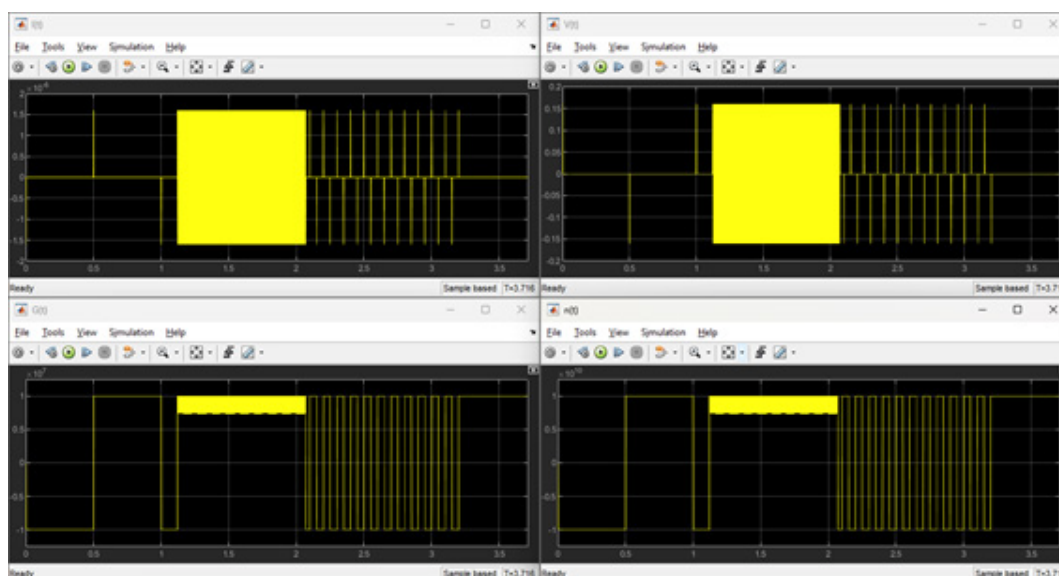
The graph shows how the photocell ( $J$ ,  $U$ ,  $I$  and  $dU$ ) change over time when exposed to pulsed (non-stationary) illumination.

Figure 5 shows the “impulse response” of a photovoltaic cell: during illumination, charges accumulate ( $J$ ,  $U$ ,  $I$  increase), and when the light is extinguished, all the values gradually decay due to diffusion-recombination and the capacitance of the p-n junction. This transient behavior is necessary to predict the

temporary power changes in real systems under conditions such as cloud shadow and oscillating radiation. Figure 6 shows a simulation model of the dynamics of charge carriers under non-stationary illumination conditions, which takes into account an equivalent diode, an electrical circuit containing capacitance and resistance. The results are useful for protecting and optimizing the operation of photovoltaic cells in cases such as lightning or laser pulses.



**Figure 6. Simulation model of charge carrier dynamics in a photovoltaic cell under non-stationary lighting conditions.**



**Figure 7. Simulated images of the dynamics of charge carriers in a photovoltaic cell under non-stationary lighting conditions.**

From the graph and analysis, it is clear that if the illumination process is sinusoidal in nature, then under sinusoidal illumination the concentration and photocurrent oscillate sinusoidally. When the light intensity increases, photogeneration increases and the number of carriers increases, while when the light intensity decreases, recombination prevails. In pulsed illumination, the charge carriers and current increase sharply at the beginning of the light pulse, and then slowly decrease after the pulse ends; this relaxation rate depends on the recombination time constant. Studies using linear array illumination have shown that when the light intensity increases linearly, the charge carriers and photocurrent also increase linearly.

### Conclusion

Based on the theoretical research conducted, the following conclusions can be drawn, which can be summarized as follows:

- Photocurrent density  $J(t)$ : When light is applied, the charge carriers are rapidly generated and reach the p-n junction, resulting in a sharp increase in the current. Later, it stabilizes under the influence of diffusion and recombination processes. When light is turned off,  $J(t)$  does not immediately fall to zero, but gradually fades away through a "tail". This is related to the charge carrier residence time  $\tau$ .

- Output voltage  $U(t)$ : In the presence of a load resistance, the p-n junction is charged like a capacitance.  $U(t)$  first increases rapidly and then approaches an equilibrium state. After

light is turned off, the voltage decreases more slowly than  $J(t)$  due to diffusion and charge in the capacitance.

- Load current  $I(t)$ : it is related to  $I(t)=U(t)/R$  and  $J(t)\cdot S$ , it rises rapidly at the beginning, then approaches the operating point with  $U(t)$ , and decreases after the light is turned off.

- Voltage rate of change  $dU/dt$ : positive and negative peaks are formed during the on

and off periods. This indicates the presence of a “long tail” due to the rapid charging-discharging of the transition capacitance and recombination processes.

**Thus, this research work helps to identify transients during operation of pulsed photovoltaic cells through theoretical models and simulations; such analyses provide an important basis for predicting and optimizing device transient power variations in real systems, such as cloud shadows, laser pulses, or light oscillations..**

### References:

1. Ortega, E., Aranguren, G., & Jimeno, J. C. (2021). Photovoltaic modules transient response analysis and correction under a fast characterization system. *Solar Energy*, 221, 232–242. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2021.03.032>
2. Nelson, J. (2003). *The physics of solar cells*. Imperial College Press.
3. Sze, S. M., & Ng, K. K. (2007). *Physics of semiconductor devices* (3rd ed.). Wiley.
4. Fell, A., Schön, J., Schubert, M. C., & Glunz, S. W. (2017). The concept of “skins” for silicon solar cell modeling. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 173, 128–133. <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2017.05.002>
5. Shockley, W., & Queisser, H. J. (1961). Detailed balance limit of efficiency of p-n junction solar cells. *Journal of Applied Physics*, 32(3), 510–519. <https://doi.org/10.1063/1.1736034>
6. Bouraiou, A., Hamouda, M., Chaker, A., Sadok, M., Mostefaoui, M., & Lachtar, S. (2015). Modeling and simulation of photovoltaic module and array based on one and two diode model using Matlab/Simulink. *Energy Procedia*, 74, 864–877.
7. Karim, S., Machkour, N., Zegrari, M., Aitelmahjoub, A., & Sabiri, Z. (2018). Modeling photovoltaic system using MATLAB/Simulink. *Smart Application and Data Analysis for Smart Cities (SADASC'18)*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3185323>
8. Fick's laws of diffusion. (2023). In *Wikipedia*. Retrieved from [https://en.wikipedia.org/wiki/Fick%27s\\_laws\\_of\\_diffusion](https://en.wikipedia.org/wiki/Fick%27s_laws_of_diffusion)
9. Einstein relation (kinetic theory). (2023). In *Wikipedia*. Retrieved from [https://en.wikipedia.org/wiki/Einstein\\_relation\\_\(kinetic\\_theory\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Einstein_relation_(kinetic_theory))
10. Error function. (2023). In *Wikipedia*. Retrieved from [https://en.wikipedia.org/wiki/Error\\_function](https://en.wikipedia.org/wiki/Error_function)
11. Fell, A., Schön, J., Schubert, M. C., & Glunz, S. W. (2017). The concept of “skins” for silicon solar cell modeling. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 173, 128–133. <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2017.05.002>
12. Salmi, T., Bouzguenda, M., Gastli, A., & Masmoudi, A. (2012). MATLAB/Simulink based modeling of photovoltaic cell. *International Journal of Renewable Energy Research (IJRER)*, 2(2), 213–218.
13. Motahhir, S. (2020). MATLAB/Simulink model of photovoltaic cell, panel and array. *Mendeley Data*, 3. <https://doi.org/10.17632/mmwhkt7whb.3>
14. Sze, S. M., & Ng, K. K. (2007). *Physics of semiconductor devices* (3rd ed.). Wiley.
15. Honsberg, C., & Bowden, S. (2023). Types of recombination in semiconductors. In *PV Education*. Retrieved from <https://www.pveducation.org>

УДК. 621.311.2:551.577.3

**Қаҳҳоров Жамшидбек Иброхимович<sup>1</sup>,***ага окутуучу***Эргашев Сирожиддин Фаёзович<sup>2</sup>,***техника илимдеринин доктору, профессор***Мирзаалимов Авазбек Алишерович<sup>1</sup>,***техника илимдеринин кандидаты, доцент***Рашидов Бобуржон Дилмуродович<sup>3</sup>,***физика-математика илимдеринин кандидаты, доцент***Мирзаалимов Наврузбек Алишер угли<sup>3</sup>,***техника илимдеринин кандидаты, доцент***Таджибаева Шарифахон Хушнудбек кызы<sup>3</sup>,***окутуучу***Мухабатхан Исмаилахун кызы<sup>4</sup>,***PhD докторант***АНДИЖАНДЫН КЛИМАТТЫК ШАРТЫНДА ЭЛЕКТР ЭНЕРГИЯСЫНЫН  
ӨНДҮРҮШҮНӨ ЭКИ ТАРАПТУУ СЕЗГИЧТҮҮ ФОТОЭЛЕКТРДИК  
МОДУЛДАРЫН ЖЕРГЕ АЛУУНУНУН ТААСИРИ****Қаҳҳоров Жамшидбек Иброхимович<sup>1</sup>,***старший преподаватель***Эргашев Сирожиддин Фаёзович<sup>2</sup>,***доктор технических наук, профессор***Мирзаалимов Авазбек Алишерович<sup>1</sup>,***кандидат технических наук, доцент***Рашидов Бобуржон Дилмуродович<sup>3</sup>,***кандидат физико-математических наук, доцент***Мирзаалимов Наврузбек Алишер угли<sup>3</sup>,***кандидат технических наук, доцент***Таджибаева Шарифахон Хушнудбек кизи<sup>3</sup>***преподаватель***Мухабатхан Исмаилахун кызы<sup>4</sup>***PhD докторант***ВЛИЯНИЕ РАСПОЛОЖЕНИЯ ДВУСТОРОННЕЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ  
ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МОДУЛЕЙ НА ПРОИЗВОДСТВО ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ  
В КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ АНДИЖАНА****Jamshidbek Ibrohimovich Qahhorov<sup>1</sup>,***Senior Lecturer***Sirojiddin Fayozovich Ergashev<sup>2</sup>,***Doctor of Technical Sciences, Professor***Mirzaalimov Avazbek Alisherovich<sup>1</sup>,***PhD, Associate Professor***Rashidov Boburjon Dilmurodovich<sup>3</sup>,***PhD, Associate Professor***Mirzaalimov Navruzbek Alisher ugli<sup>3</sup>,***PhD, Associate Professor***Tadjibaeva Sharifaxon Khushnudbek kyzy<sup>3</sup>,***Lecturer*

**Mukhabbatkhan Ismailakhun kyzy<sup>4</sup>,**  
*PhD Student*

**THE IMPACT OF BIFACIAL PHOTOVOLTAIC MODULE ORIENTATION  
ON ELECTRICAL ENERGY PRODUCTION UNDER THE CLIMATIC CONDITIONS OF ANDIJAN**

<sup>1</sup>*Андижанский государственный педагогический институт,  
Андижан, Республика Узбекистан*

<sup>2</sup>*Кафедра электротехника и автоматизация Ферганского государственного  
технического университета, Фергана, Республика Узбекистан*

<sup>3</sup>*Андижанский государственный университет, Андижан, Республика Узбекистан*

<sup>4</sup>*Ошский государственный университета, Ош, Кыргызская Республика*

<sup>1</sup>*Андижан мамлекеттик педагогикалык институту, Андижан, Ўзбекистан Республикасы*

<sup>2</sup>*Фергана мамлекеттик техникалык университетинин электротехника  
жана автоматика кафедрасы, Фергана, Ўзбекистан Республикасы*

<sup>3</sup>*Андижан мамлекеттик университети, Андижан, Ўзбекистан Республикасы*

<sup>4</sup>*Ош мамлекеттик университети, Ош, Кыргыз Республикасы*

<sup>1</sup>*Andijan State Pedagogical Institute, Andijan, Republic of Uzbekistan*

<sup>2</sup>*Fergana State Technical University, Fergana, Republic of Uzbekistan*

<sup>3</sup>*Andijan State University, Andijan, Republic of Uzbekistan*

<sup>4</sup>*Osh State University, Osh, Kyrgyz Republic*

**Аннотация.** Бул макалада эки беттүү фотоэлектрдик панелдердин (ФП) жардамы менен күн радиациясын электр энергиясына айландыруу процесси каралат. Эки тараптуу ФП панелдери салттуу бир беттүү панелдерге салыштырмалуу аянт бирдигине көбүрөөк энергия өндүрүү жөндөмдүүлүгүнөн улам коммерциялык жана өнөр жай колдонмолору үчүн барган сайын популярдуу болуп баратат. Панелдердин арткы бөлүгүнөн пайда болгон кошумча энергия бир нече факторлорго, анын ичинде айланадагы беттерден жана жердин альбедосунан чагылган күн нурунун интенсивдүүлүгүнөн көз каранды. Атап айтканда, ачык түстүү же жылмаланган материалдар сыяктуу чагылтуу беттери эки жүздүү күн модулдарынын энергия түшүмүн бир топ жогорулата алат. Изилдөө панелдер астындагы орнотуу конфигурациясын жана жер үстүндөгү касиеттерин оптималдаштыруу жалпы системанын натыйжалуулугун олуттуу жогорулатууга алып келиши мүмкүн экенин көрсөтүп турат. Бул натыйжалар ар кандай климаттык шарттарда жогорку эффективдүү ФП системаларын долбоорлоо жана ишке ашыруу үчүн маанилүү натыйжаларга ээ.

**Ачкыч сөздөр:** эффективдүүлүк, эки жүздүү күн панели, кремний, күн энергиясы, альбеде, энергия кирешелүүлүгү.

**Аннотация.** В статье рассматривается процесс преобразования солнечной радиации в электрическую энергию с использованием двусторонних фотоэлектрических (ФЭ) панелей. Двусторонние ФЭ панели становятся всё более популярными для коммерческого и промышленного применения благодаря их способности генерировать больше энергии на единицу площади по сравнению с традиционными односторонними панелями. Дополнительная энергия, вырабатываемая с тыльной стороны панелей, зависит от нескольких факторов, включая интенсивность отражённого солнечного света от окружающих поверхностей и альбеде земли. В частности, отражающие поверхности, такие как светлые или полированные материалы, могут значительно повысить выработку энергии двусторонними солнечными модулями. Исследование показывает, что оптимизация конфигурации установки и свойств поверхности под панелями может привести к существенному повышению общей эффективности системы.

Эти результаты имеют важное значение для проектирования и внедрения высокоэффективных ФЭ систем в различных климатических условиях.

**Ключевые слова:** эффективность, двусторонняя солнечная панель, кремний, солнечная энергия, альbedo, выход энергии.

**Abstract.** This article examines the process of converting solar radiation into electrical energy using bifacial photovoltaic (PV) panels. Bifacial PV panels are becoming increasingly popular for commercial and industrial applications due to their ability to generate higher energy yields per unit area compared to conventional monofacial panels. The additional energy produced from the rear side of these panels depends on several factors, including the intensity of reflected sunlight from the surrounding surfaces and the albedo of the ground. In particular, reflective surfaces such as light-colored or polished materials can significantly enhance the energy output of bifacial solar modules. The study highlights that optimizing both the installation configuration and the surface properties beneath the panels can lead to substantial improvements in overall system efficiency. These findings are important for the design and deployment of high-performance PV systems in various climatic conditions.

**Keywords:** efficiency, bifacial solar panel, silicon, solar energy, albedo, energy yield.

### Введение

Постоянный рост мирового спроса на энергию в сочетании с ограниченностью традиционных источников энергии усилил внимание к возобновляемым источникам энергии. Солнечная энергия является одним из таких источников, обеспечивая возможность стабильного производства электроэнергии [1]. По мере развития технологий выработки электроэнергии с использованием солнечных панелей появляются фотогальванические (ФЭ) модули нового поколения [2]. Двусторонние ФЭ модули (Bifacial PV) представляют собой одну из таких передовых технологий, так как они способны улавливать солнечный свет не только с передней, но и с задней стороны, что повышает их общую эффективность [3].

Узбекистан, включая Андижанскую область, обладает значительным потенциалом в области возобновляемой энергии, особенно солнечной. В течение года в стране наблюдается большое количество солнечных дней, что создаёт благоприятные условия для широкого внедрения технологий солнечной энергетики. Изучение преимуществ двусторонних ФЭ модулей, а также влияния их размещения и ориентации на выработку электроэнергии имеет важное значение.

Солнечная радиация является основным фактором, определяющим потенциал производства энергии фотогальваническими модулями [4]. Солнечные лучи, достигающие поверхности Земли, состоят из трёх основ-

ных компонентов: прямой радиации, рассеянной радиации и отражённой радиации.

Двусторонние модули отличаются от односторонних способностью улавливать отражённую радиацию [5]. Это позволяет таким модулям производить дополнительную энергию за счёт света, отражённого от поверхности земли. В условиях Андижана отражённая радиация имеет особое значение, так как отражающие поверхности (например, белые или светлые поверхности) могут существенно повысить эффективность двусторонних модулей.

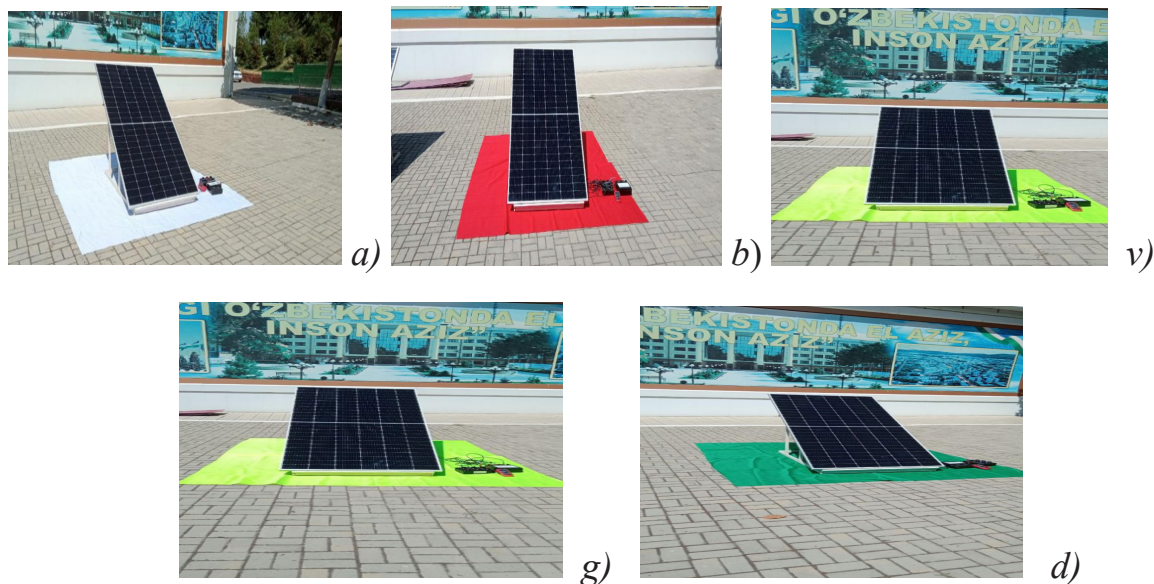
### Материалы и методы

В данном исследовании были всесторонне проанализированы воздействия солнечной радиации на характеристики двух типов солнечных панелей, включая как фотоэлектрическое, так и тепловое влияние. Особое внимание уделялось изучению того, как направление солнечного света влияет на переднюю и заднюю поверхности панелей в естественных условиях, что позволяет оценить реальную производительность панелей в полевых условиях (Рис. 1).

Основная цель подхода заключалась в исследовании влияния различных цветов горизонтальной поверхности, находящейся под двусторонней солнечной панелью, на её электрические характеристики. Для этого были разработаны и проведены контролируемые эксперименты с использованием панелей одинакового типа, площади и числа солнечных элементов, при которых варьировались цвета горизонтальной поверхности под панелью (Рис. 2).



а) б)  
**Рис. 1.** Внешний вид задней (а) и передней (б) поверхностей двусторонней солнечной панели



**Рис. 2.** Варианты использования разноцветных поверхностей в качестве фона под двусторонней солнечной панелью.

Эксперименты проводились при постоянной освещённости  $W = 590 \text{ Вт/м}^2$  для обеспечения сопоставимости результатов и минимизации влияния внешних факторов. В процессе испытаний измерялись ключевые электрические параметры: напряжение, ток и выходная мощность панели. При этом учитывалось влияние отражённого солнечного света от горизонтальных поверхностей различных цветов на заднюю сторону панели, что является отличительной особенностью двусторонних ФЭ модулей.

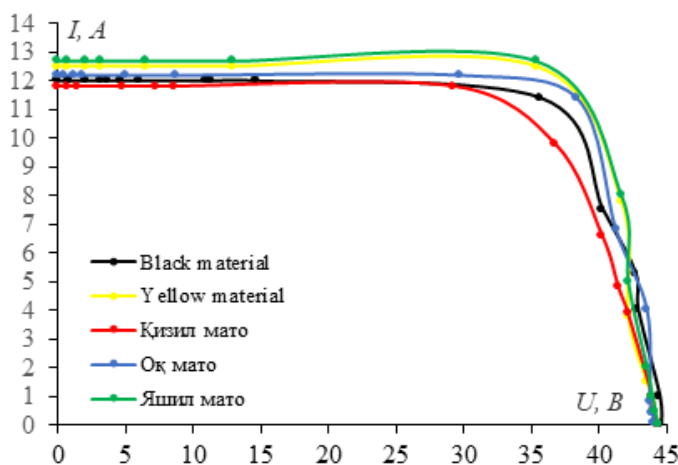
Результаты проведённых экспериментов представлены на Рисунках 3 и 4. Они демонстрируют зависимость напряжения, тока и мощности от цвета задней фоновой поверхности для двусторонней солнечной панели ( $2,28 \times 1,14 \text{ м}^2$ ) и позволяют оценить вклад отражённого света в общую производительность панели. Данный подход обеспечивает возможность получения практических рекомендаций по оптимальному выбору цвета и материала поверхности под панелью для максимизации её выходной энергии.

### Результаты и обсуждение

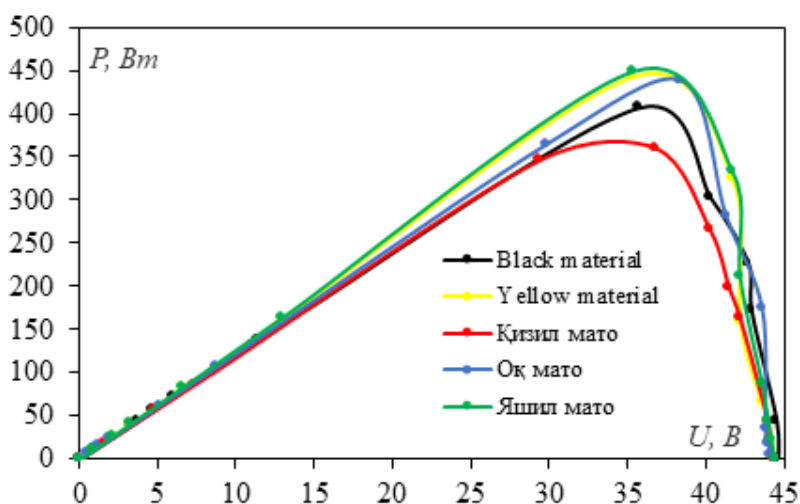
На рис. 3 и 4 показано, что цвет горизонтальной поверхности под двусторонней солнечной панелью играет значительную роль в общей выработке энергии. Наибольшие значения тока короткого замыкания и выходной мощности достигаются, когда горизонтальная поверхность под двусторонней панелью имеет зелёный или жёлтый цвет. Естественно, в таких случаях вклад задней поверхности в общие параметры выхода двусторонней солнечной панели увеличивается. Более того, использование отражающих стеклянных поверхностей под или за двусто-

ронной панелью может ещё больше повысить эффективность.

Для количественного определения вклада таких поверхностей необходимы специализированные исследования в научной, технической, проектной или инновационной форме. Эти исследования позволят получать точные результаты для конкретных мест, учитывая архитектуру и расположение зданий, а также цвета их внешних поверхностей. Кроме того, предлагается использование двусторонних солнечных панелей на сельскохозяйственных полях, например, в местах выращивания люцерны (постоянно зелёные поля).



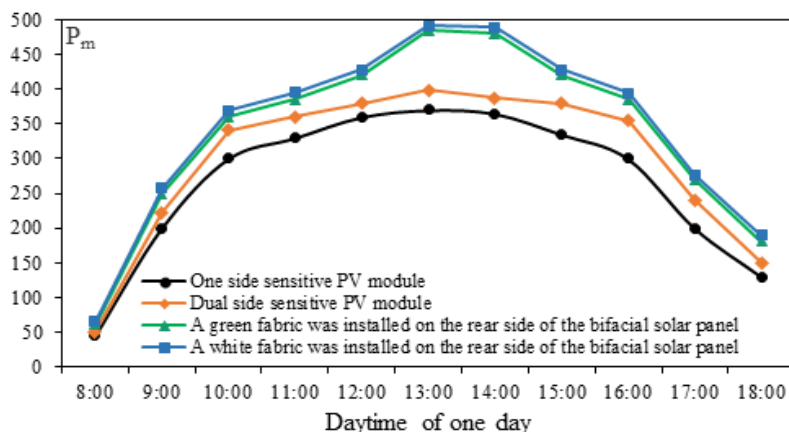
**Рис. 3.** Вольт-амперные характеристики двусторонних солнечных панелей (144 солнечных элемента, общая площадь  $2,28 \times 1,14 \text{ м}^2$ ) при освещённости  $590 \text{ Вт/м}^2$ , установленных на поверхности с различным цветом задней стороны



**Рис. 4.** График зависимости мощности от напряжения двусторонних солнечных панелей (144 солнечных элемента, общая площадь  $2,28 \times 1,14 \text{ м}^2$ ) при освещённости  $590 \text{ Вт/м}^2$ , установленных на поверхности с различным цветом задней стороны

Испытание горизонтальной поверхности двусторонней солнечной панели с различными цветами фона представляет интерес, и результаты представлены на Рис. 5. Когда односторонние и двусторонние освещённые поверхности расположены под одним и тем же углом наклона, лучшие параметры выхо-

да естественно наблюдаются у двусторонних поверхностей за счёт вклада задней стороны, на которую падает случайно рассеянный свет. Формирование зелёного и белого фона под двусторонней солнечной панелью обеспечивает значительное улучшение выходных характеристик (Рис. 5).



**Рис. 5.** График зависимости мощности от времени для солнечных панелей с односторонним и двусторонним освещением на горизонтальной поверхности с зелёным и белым фоном

Очевидна важность как цвета, так и расстояния горизонтальной поверхности под двусторонней солнечной панелью для её работы. Кроме того, если панель установлена перед вертикальной конструкцией (стеной), цвет поверхности стены и расстояние между панелью и стеной также играют важную роль в определении выходных параметров.

#### Заключение

В заключение следует отметить, что общая мощность, вырабатываемая двусторонними солнечными панелями, а также её распределение в течение дня демонстрируют кривые, существенно отличающиеся от аналогичных параметров односторонне освещённых панелей. Экспериментальные данные показали, что цвет и отражающая способность горизонтальной поверхности под панелью, а также цвет и расстояние вертикальных структур рядом с панелью оказывают заметное влияние на электрические параметры и эффективность системы.

Результаты исследования позволяют сделать вывод о значительной роли отражённого солнечного света и возможности его использования для повышения общей производительности системы. На основании полученных данных могут быть разработаны новые рекомендации по оптимальному размещению и ориентации двусторонних солнечных панелей, а также по выбору соответствующих поверхностей вблизи установки, что особенно важно для различных климатических и архитектурных условий.

Кроме того, исследования подтвердили перспективность применения двусторонних солнечных панелей в сельскохозяйственных угодьях и на открытых территориях с высокой отражающей способностью поверхности, что позволяет повысить общий выход энергии и эффективность эксплуатации таких систем. Полученные результаты открывают возможности для дальнейших научных, технических и проектных исследований, направленных на оптимизацию применения двусторонних ФЭ модулей в различных реальных условиях.

**References:**

1. A. Mirzaalimov, J. Gulomov, R. Aliev, N. Mirzaalimov, and S. Aliev, "A study of silicon p-n structures with mono-and multifacial photosensitive surfaces," *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*, vol. 22, no. 1, pp. 25–32, 2022, doi: 10.17586/2226-1494-2022-22-1-25-32.
2. Fabio Ricco Galluzzo, Luca Zumbo, Gianluca Acciari Experimental Investigation and Characterization of Innovative Bifacial Silicon Solar Cells. // *International journal of renewable energy research*. F. R. Galluzzo et al., Vol.9, No.4, December, 2019. 1995-2002.
3. Claudia Duran Bifacial Solar Cells: High Efficiency Design, Characterization, Modules and Applications. Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades des Doktors der Naturwissenschaften (Dr. rer. nat). 2012. -130 p.
4. Zakaria Ait lahouari Innovative designs and performance optimization of bifacial photovoltaic silicon solar panels. Al Akhawayn University. School of science and engineering. Capstone Design. Spring 2018. -69 p.
5. Komilov M. Khonbutaeva D.A. Kakhramonova Sh.Sh. Mirzaalimov A.A. Mirzaalimov N.A. STUDY OF THE DEPENDENCE OF THE BASE THICKNESS OF A DUAL-SIDED SENSITIVE SOLAR CELL ON THE IMPURITY CONCENTRATION // *Universum: технические науки*. 2023. 12(117). DOI - 10.32743/UniTech.2023.117.12.16568.

УДК 621.311:620.92

**Мирзаалимов Наврузбек Алишер угли<sup>1</sup>,**  
*кандидат технических наук, доцент*  
**Алдашева Нуржамал Тунаевна<sup>2</sup>,**  
*кандидат технических наук, доцент*  
**Алиев Райимжон<sup>1</sup>,**  
*доктор технических наук, профессор*  
**Рашидов Бобуржон Дилмуродович<sup>1</sup>,**  
*кандидат физико-математических наук, доцент*  
**Мирзаалимов Авазбек Алишерович<sup>3</sup>,**  
*кандидат технических наук, доцент*  
**Қаҳҳоров Жамшидбек Иброхимович<sup>3</sup>,**  
*старший преподаватель*  
**Мухабатхан Исмаилахун кызы<sup>4</sup>,**  
*PhD докторант*  
**Комилов Муроджон Мухторжон угли<sup>3</sup>,**  
*преподаватель*

#### РАЗРАБОТКА ГИБРИДНОЙ СОЛНЕЧНО-ВЕТРОВОЙ МИКРО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ГОРОДСКИХ УЛИЦ

**Мирзаалимов Наврузбек Алишер угли<sup>1</sup>,**  
*техника илимдеринин кандидаты, доцент*  
**Алдашева Нуржамал Тунаевна<sup>2</sup>,**  
*техника илимдеринин кандидаты, доцент*  
**Алиев Райимжон<sup>1</sup>,**  
*техника илимдеринин доктору, профессор*  
**Рашидов Бобуржон Дилмуродович<sup>1</sup>,**  
*физика-математика илимдеринин кандидаты, доцент*  
**Мирзаалимов Авазбек Алишерович<sup>3</sup>,**  
*техника илимдеринин кандидаты, доцент*  
**Қаҳҳоров Жамшидбек Иброхимович<sup>3</sup>,**  
*ага окутуучу*  
**Мухабатхан Исмаилахун кызы<sup>4</sup>,**  
*PhD докторант*  
**Комилов Муроджон Мухторжон угли<sup>3</sup>,**  
*окутуучу*

#### ШААРДЫК КӨЧӨЛӨР ҮЧҮН ГИБРИДДИК КҮН-ШАМАЛ МИКРО ЭНЕРГЕТИКА СИСТЕМАСЫН ӨНҮКТҮРҮҮ

**Navruzbek Alisher ugli Mirzaalimov<sup>1</sup>,**  
*PhD, Associate Professor*  
**Nurzhamal Tunaevna Aldasheva<sup>2</sup>,**  
*Candidate of Technical Sciences, Associate Professor*  
**Rayimjon Aliev<sup>1</sup>,**  
*Doctor of Technical Sciences, Professor*  
**Boburjon Dilmurodovich Rashidov<sup>1</sup>,**  
*PhD, Associate Professor*

**Avazbek Alisherovich Mirzaalimov<sup>3</sup>,**  
*PhD, Associate Professor*  
**Jamshidbek Ibrohimovich Qahhorov<sup>3</sup>,**  
*senior lecturer*  
**Mukhabbatkhan Ismailakhun kyzy<sup>4</sup>,**  
*PhD student*  
**Murodjon Mukhtorjon ugli Komilov<sup>3</sup>,**  
*lecturer*

### **HYBRID SOLAR-WIND MICRO-ENERGY SYSTEMS IN 3D FORMAT FOR CITY STREETS**

<sup>1</sup>Андижанский государственный университет, Андижан, Республика Узбекистан

<sup>2</sup>Ошский технологический университет им. академика М.М.Адышева,  
Ош, Кыргызская Республика

<sup>3</sup>Андижанский государственный педагогический институт,  
Андижан, Республика Узбекистан

<sup>4</sup>Ошский государственный университет, Ош, Кыргызская Республика

<sup>1</sup>Андижан мамлекеттик университети, Андижан, Өзбекстан Республикасы

<sup>2</sup>Академик М.М.Адышев ат. Ош технологиялык университети, Ош, Кыргыз Республикасы

<sup>3</sup>Андижан мамлекеттик педагогикалык институту, Өзбекстан Республикасы

<sup>4</sup>Ош мамлекеттик университети, Ош, Кыргыз Республикасы

<sup>1</sup>Andijan State University, Andijan, Republic of Uzbekistan

<sup>2</sup>Osh Technological University named after academician M.M. Adyshev, Osh, Kyrgyz Republic

<sup>3</sup>Andijan State Pedagogical Institute, Andijan, Republic of Uzbekistan

<sup>4</sup>Osh State University, Osh, Kyrgyz Republic

**Аннотация.** В данной статье разработано новое гибридное солнечно-ветровое микроэнергетическое устройство в 3D-формате, предназначенное для городских улиц. Солнечный модуль состоит из шести трапециевидных кремниевых солнечных панелей с КПД 21%. Благодаря оптимизированной пирамидальной конструкции фотоэлектрического модуля обеспечивается на 42,5% большее производство электроэнергии по сравнению с плоскими солнечными панелями, за счёт увеличения времени освещения солнечными лучами на 4 часа. Установлено, что при угловой скорости вращения 6–8 рад/с температура поверхности фотоэлектрического модуля снижается на 1,3–1,87 °С/мин, а выходная мощность увеличивается за счёт повышения рабочего напряжения на 0,1–0,27 В. Ветроустановка с вертикальной осью вращения предотвращает перегрев поверхности фотоэлектрического модуля в дневное время и позволяет использовать механическую энергию ветра для выработки дополнительной электроэнергии ночью. Устройство эффективно работает при низких скоростях ветра ( $v = 0,5–2$  м/с), возникающих в результате непрерывного движения автомобилей на автомагистралях. Система оснащена перезаряжаемой батареей, обеспечивающей автономную работу силового блока. Показаны перспективы широкого внедрения микроэнергетической системы мощностью до нескольких киловатт.

**Ключевые слова:** ветротурбина, гибрид, солнечный ветер, энергия, солнечный модуль, пирамида.

**Аннотация.** Бул документ шаар көчөлөрүндөгү колдонмолор үчүн жаңы 3D күн-шамал гибридик микроэнергиялык түзүлүштү иштеп чыгат. Күн модулу 21% эффективдүүлүгү менен алты трапеция түрүндөгү кремний күн панелинен турат. Фотоэлектрдик модулдун оптималдаштырылган пирамидалык дизайны күндүн экспозиция убактысын 4 саатка узартуу менен жалпак күн панелдерине салыштырмалуу 42,5% көбүрөөк энергия өндүрүүгө алып келет. 6–8 рад/с бурчтук айлануу ылдамдыгында фотоэлектрдик модулдун бетинин температурасы 1,3–1,87 °С/мин төмөндөйт, ал эми чыгуучу кубаттуулугу иштөө чыңалуусун 0,1–0,27 В жо-

горулатуу менен жогорулайт. Вертикалдык огу шамал турбинысы күндүз фотоэлектрдик модулдун бетинин ашыкча ысып кетүүсүнө жол бербейт жана түнкүсүн кошумча электр энергиясын өндүрүү үчүн шамал энергиясын колдонууга мүмкүндүк берет. Аппарат трассаларда тынымсыз унаа кыймылы учурунда пайда болгон шамалдын төмөн ылдамдыгында ( $v = 0,5-2$  м/сек) эффективдүү иштейт. Система энергия блогунун автономдуу иштешин камсыз кылуучу аккумулятордук батарея менен жабдылган. Кубаттуулугу бир нече киловаттга чейинки микро-энергетикалык системаны кенири жайылтуу учун мүмкүнчүлүктөр керсетилди.

**Ачык сөздөр:** шамал турбинысы, гибрид, күн шамалы, энергия, күн модулу, пирамида.

**Abstract.** This paper develops a novel 3D micro solar-wind hybrid power device for urban street applications. The solar module consists of six trapezoidal silicon solar panels with an efficiency of 21%. An optimized pyramidal design of the photovoltaic module results in 42.5% higher power production compared to flat solar panels by extending the solar exposure time by 4 hours. It was found that at an angular rotation speed of 6–8 rad/s, the surface temperature of the photovoltaic module decreases by 1.3–1.87 °C/min, and the output power increases by increasing the operating voltage by 0.1–0.27 V. A vertical-axis wind turbine prevents overheating of the photovoltaic module surface during the day and allows the use of wind energy to generate additional electricity at night. The device operates effectively at low wind speeds ( $v = 0.5-2$  m/s), which occur during continuous vehicle traffic on highways. The system is equipped with a rechargeable battery, ensuring autonomous operation of the power unit. Potential for widespread implementation of a micro-power system with a capacity of up to several kilowatts is demonstrated.

**Keywords:** wind turbine, hybrid, solar wind, energy, solar module, pyramid.

### Введение

В настоящее время, в связи с сокращением запасов невозобновляемых источников энергии и обострением экологических проблем, всё большее внимание уделяется использованию возобновляемых источников энергии для удовлетворения растущей потребности в электричестве. Перспективным направлением повышения энергоэффективности городской инфраструктуры и снижения воздействия на окружающую среду является применение гибридных солнечно-ветровых микро-энергетических систем. Такие системы обеспечивают высокую эффективность за счёт взаимного дополнения ограничений одного источника энергией другого [1][2]. Основным средством преобразования солнечного излучения в электрическую энергию являются фотоэлектрические устройства. Солнечные панели, оснащённые системами слежения (трекерами), вырабатывают до 30% больше энергии по сравнению со стационарными модулями. Однако прямое воздействие солнечного излучения приводит к перегреву поверхности модулей, что снижает их эффективность. В качестве альтернативного решения предла-

гается использование панелей, оснащённых системами охлаждения, или конструкций, выполненных в 3D-формате (в виде конуса или пирамиды). Такие системы позволяют применять солнечные элементы треугольной и прямоугольной формы [3][4].

Энергия ветра также является важным возобновляемым источником. Турбины типа Савониуса с вертикальной осью вращения характеризуются низким уровнем шума, компактностью и удобством в обслуживании. Они эффективно функционируют даже при низких скоростях ветра.

В данном исследовании проведена разработка 3D-форматной гибридной солнечно-ветровой микроэнергетической системы для городских улиц Андижана. Устройство предназначено для совместного производства электрической энергии за счёт использования ветрового потока, создаваемого движением транспортных средств, и солнечного излучения [5][6]. Интеграция вертикальной осевой турбины позволяет использовать ветер любого направления. Предлагаемое решение обеспечивает возможность внедрения малогабаритной, эстетичной и энергоэффективной системы энергоснабжения в городских медиа-зонах [7][8].

**Материалы и методы**

На рис. 1 представлена упрощённая схема гибридной солнечно-ветровой микроэнергетической системы в вертикальном сечении, на рис. 2 показано воздействие ветрового потока на лопасти вертикальной турбины и формирование результирующих векторов движущих сил, а на рис. 3 изображён общий вид фотоэлектрическая модуля пирамидальной формы с многогранной поверхностью.

Предлагаемая гибридная система в 3D-формате состоит из следующих основных компонентов: 1 - Фотоэлектрический модуль на основе монокристаллического кремния; 2 - Ветроустановка с вертикальной осью вращения; 3 - Аккумуляторная батарея; 4 - Система дистанционного мониторинга; 5 - Осветительный элемент.

Инвертор; 6 - Фотоэлектрический модуль; 7 - Система дистанционного мониторинга; 8 - Аккумуляторная батарея; 9 - Осветительный элемент.

Фотоэлектрический модуль преобразует солнечную энергию в электрическую и имеет форму усечённой пирамиды, состоящей из шести трапециевидных солнечных панелей. Ветроустановка преобразует энергию воздушного потока в электрическую, а аккумуляторная батарея предназначена для накопления избыточной мощности. Осветительный элемент автоматически обеспечивает освещение в ночное время, а система дистанционного мониторинга контролирует вырабатываемую мощность и запасённую энергию.

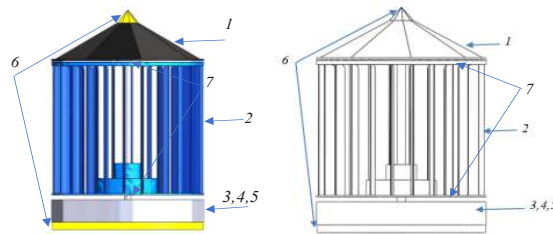


Рис. 1. Структура предлагаемой гибридной солнечно-ветровой микроэнергетической системы.

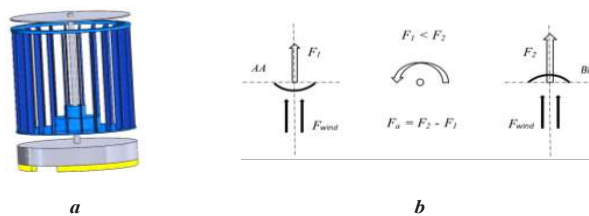


Рис. 2. Изображён приводной вращательный механизм в воздушном потоке (а) и схема воздействия вектора силы воздушного потока на лопасти (б).

Конструкция вертикально-осевой ветровой турбины выполнена в виде маглев-тур-

бины, что обеспечивает её лёгкое вращение под воздействием воздушного потока, создаваемого на автомагистралях

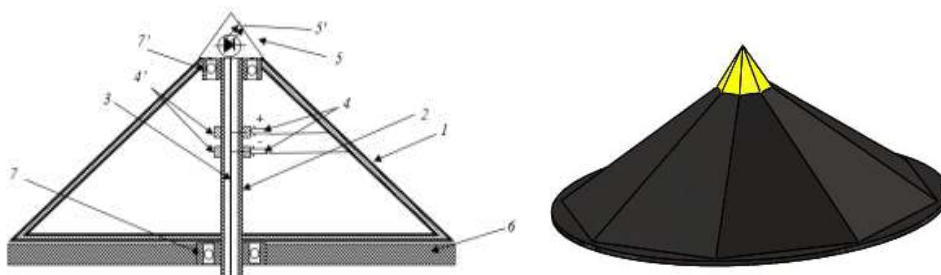


Рис. 3. Внутренняя структура фотоэлектрического модуля, расположенного в верхней части гибридной солнечно-ветровой микроэнергетической установки

На рисунке 3 представлена общая конструкция 3D фотоэлектрического модуля с вертикальной осью, выполненного в форме многогранной или усечённой пирамиды. Устройство состоит из солнечной панели (1), вертикального вала (2), электрических соединительных проводов (3), светодиодного светильника (5), нижнего диска (6), а также вращающейся части (7, 7'), закреплённой на вертикальном валу посредством подшипников. Передача электрической энергии осуществляется через механизм щётка (4) — кольцо (4').

Цифровая модель фотоэлектрического модуля разработана на языке программирования C# 9.0 под названием «STVertical» и зарегистрирована в Агентстве интеллектуальной собственности Республики Узбекистан под номером DGU09198 от 24 сентября 2020 года. Программа предназначена для численного решения дифференциальных уравнений, анализа экспериментальных данных и оптимизации конструктивных параметров устройства.

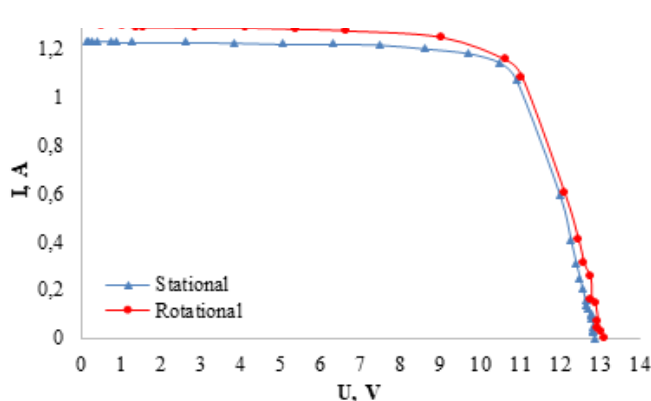
По результатам проведённого моделирования установлены оптимальные размеры устройства: верхний радиус — 0,07–0,14

м, нижний радиус — 0,35–0,45 м, высота — 0,32–0,4 м. Выявлено, что при такой геометрической форме время освещения поверхности солнечным излучением на 4 часа больше по сравнению с плоской панелью, а общая эффективность устройства выше на 42,5 %.

### Результаты и обсуждение

На рис. 6 представлены вольт-амперные характеристики 3D фотоэлектрического модуля в форме усечённой пирамиды, образованного последовательным соединением трапециевидальных кремниевых солнечных панелей, в стационарном и вращающемся состояниях. При вращении устройства ток короткого замыкания составил 1,51 А, а напряжение холостого хода — 12,98 В. В невращающемся состоянии ток короткого замыкания равнялся 1,496 А, а напряжение холостого хода — 12,82 В.

Цель вращения устройства заключается в создании вокруг него эффекта ветрового охлаждения. Явудегер также применял вращение 3D фотоэлектрического устройства вокруг собственной оси для его охлаждения. Для определения оптимальных параметров работы и сравнения с традиционными плоскими солнечными панелями он использовал нейронную сеть.



**Рис. 6.** Вольт-амперные характеристики 3D фотоэлектрического модуля в форме усечённой пирамиды, образованного последовательным соединением трапециевидальных кремниевых солнечных панелей, в стационарном и вращающемся состояниях.

При вращении устройства было установлено улучшение его фотоэлектрических параметров. В связи с этим была исследована зависимость фотоэлектрических характеристик от угловой скорости вращения. На

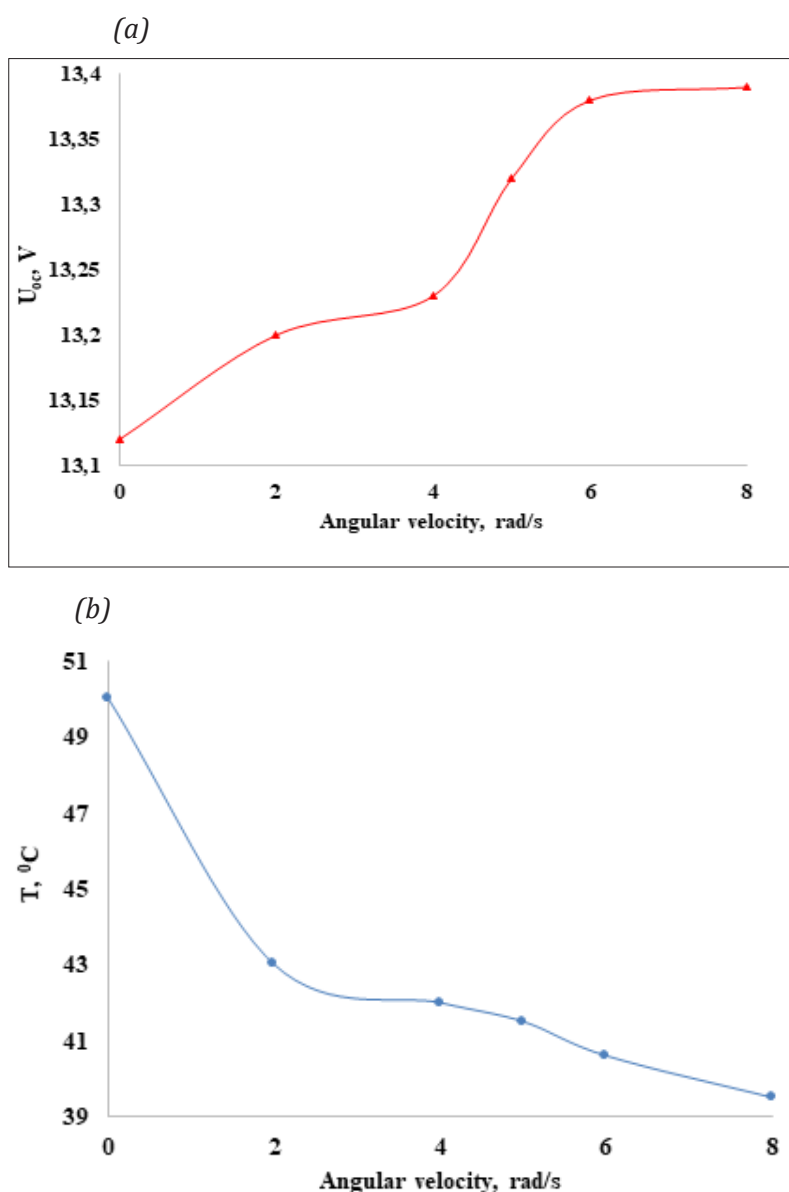
**рисунке 7** представлены зависимости напряжения холостого хода (а) и температуры поверхности (b) 3D фотоэлектрического модуля от угловой скорости устройства. С увеличением угловой скорости напряжение

холостого хода возрастало, а температура поверхности устройства снижалась. При уменьшении температуры поверхности фотоэлектрического модуля наблюдалось увеличение напряжения холостого хода. Это объясняется увеличением ширины запрещённой зоны и уменьшением концентрации собственных носителей заряда.

Охлаждение обычных солнечных панелей под воздействием ветра ранее подробно изучалось. В частности, в работах Скоплаки

было показано, что количество тепла, отводимого с единицы площади поликристаллических кремниевых панелей за единицу времени, напрямую зависит от скорости ветра.

Поскольку вращающееся устройство создаёт воздушный поток вокруг себя, скорость вихревого движения воздуха вблизи его поверхности можно приравнять к линейной скорости крайних точек устройства. Следовательно, при изменении скорости вращения изменяется и температура поверхности устройства.



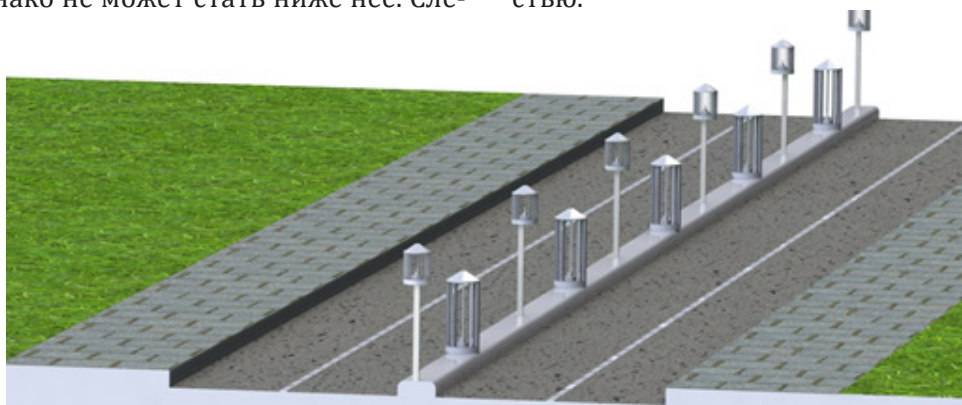
**Рис. 7.** Зависимость напряжения холостого хода (а) и температуры поверхности (б) 3D фотоэлектрического модуля в форме усечённой пирамиды, образованного последовательным соединением трапецидальных кремниевых солнечных панелей, от угловой скорости устройства.

В невращающемся состоянии температура поверхности устройства составила 50 °С, а напряжение холостого хода — 13,12 В. В диапазоне угловых скоростей 0–6 рад/с температура поверхности устройства снизилась на 9,4 °С, что привело к резкому увеличению напряжения холостого хода на 0,36 В. В диапазоне 6–8 рад/с температура уменьшилась всего на 1,1 °С, а напряжение холостого хода увеличилось незначительно — примерно на 0,01 В.

Таким образом, при увеличении скорости вращения напряжение холостого хода фотоэлектрического модуля асимптотически приближается к определённому значению, а температура поверхности асимптотически стремится к температуре окружающей среды, однако не может стать ниже неё. Сле-

довательно, предложенный метод позволяет предотвратить перегрев поверхности фотоэлектрического модуля, но не обеспечивает его охлаждение до низких температур.

На основании полученных результатов можно заключить, что предложенная 3D гибридная солнечно-ветровая микро-энергетическая система для городских улиц способна эффективно использовать энергию воздушных потоков, создаваемых движущимися по автомагистралям транспортными средствами, а также солнечное излучение, падающее на поверхность панели. Внедрение такой установки в городскую инфраструктуру позволит преобразовывать кинетическую энергию ветров любого направления в электрическую энергию с высокой эффективностью.



**Рис. 8.** Гибридная солнечно-ветровая микро-энергетическая система для городских улиц.

Данная 3D-форматная гибридная энергетическая установка позволяет использовать механическую энергию ветра для предотвращения перегрева поверхности фотоэлектрического модуля днём и для дополнительной выработки электрической энергии ночью. Преобразуя кинетическую энергию в электрическую, устройство способно эффективно работать при низкой скорости воздушного потока ( $v = 1,5\text{--}2$  м/с), возникающего за счёт постоянного движения автомобилей на автомагистралях.

Высота установки составляет около 1 метра, а с вертикальной опорной стойкой — 2,5–3 метра. Благодаря 3D-дизайну устройство может использовать часть вырабатываемой энергии для освещения городских улиц и обеспечения бесперебойного электропитания светофоров на перекрёстках.

Компактная конструкция предлагаемого устройства позволяет устанавливать его вдоль дорожных разделительных полос на городских магистралях, что способствует увеличению объёма вырабатываемой электроэнергии и расширению возможностей её использования в городской инфраструктуре.

#### **Заключение**

3D форматные гибридные солнечно-ветровые энергетические установки на основе кремния были исследованы с использованием цифрового моделирования и экспериментальных методов. В результате получены следующие основные выводы:

— Предложена концепция гибридной системы, использующей энергию ветра для снижения перегрева поверхности солнечной панели и дополнительной выработки энергии ночью;

— Разработано 3D-устройство с аэродинамическими лопастями и кремниевыми фотоэлементами, защищённое патентом № UZ FAP 01804;

— Установлено, что при скорости вращения 6–8 рад/с температура поверхности модуля снижается на 1,3–1,87 °С/мин, а напряжение увеличивается на 0,1–0,27 В;

— Определены оптимальные параметры конструкции:  $0,07 < r_1 < 0,14$  м,  $0,35 < r_2 < 0,45$  м,

$0,32 < h < 0,4$  м; доказано, что эффективность устройства на 42,5% выше, чем у плоских панелей.

Предлагаемая установка обеспечивает экологически чистое и непрерывное производство электроэнергии за счёт совместного использования солнечного излучения и энергии ветра. Она эффективно работает даже при низкой скорости ветра (0,5–2 м/с), возникающей вследствие постоянного движения транспортных средств на автомагистралях.

### Список литературы:

1. M. R. Patel, "Wind and Solar Power Systems," (Taylor and Francis, New York, ed. 2, 2006) [second edition].
2. M. Engin, "Sizing and simulation of PV-Wind hybrid power system," *International Journal of Photoenergy*, 2013, 1-10 (2013) DOI: 10.1155/2013/217526.
3. P. A. Østergaard, N. Duic, Y. Noorollahi, H. Mikulcic, and S. Kalogirou, "Sustainable development using renewable energy technology," *Renewable Energy*, vol. 146, pp. 2430–2437, Feb. 2020, doi: 10.1016/j.renene.2019.08.094.
4. P. Fath, S. Keller, P. Winter, W. Joos, and W. Herbst, "Status and perspective of crystalline silicon solar cell production," *Conference Record of the IEEE Photovoltaic Specialists Conference*, pp. 002471–002476, 2009, doi: 10.1109/PVSC.2009.5411274.
5. M. R. Gomaa, W. Hammad, M. Al-Dhaifallah, and H. Rezk. (2020). "Performance enhancement of grid-tied PV system through proposed design cooling techniques: An experimental study and comparative analysis," *Sol. Energy*, vol. 211, p. 1110–1127. doi: 10.1016/j.solener.2020.10.062.
6. M. R. Gomaa, H. Rezk, R. J. Mustafa, and M. Al-Dhaifallah. (2019). "Evaluating the environmental impacts and energy performance of a wind farm system utilizing the life-cycle assessment method: A practical case study," *Energies*, vol. 12, no. 17. doi: 10.3390/en12173263.
7. Y. Kumar et al. (2016). "Wind energy: Trends and enabling technologies," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 53, p. 209-224. doi:10.1016/j.rser.2015.07.200.
8. M. Shalby, A. Abuseif, M. R. Gomaa, AhmadSalah, A. Marshli, and H. Al-Rawashdeh. (2022). "Assessment of Dust Properties in Ma'an Wind Farms in Southern Jordan," *Jordan J. Mech. Ind. Eng.*, vol. 16, no. 4, pp. 645–652.

УДК: 52-13

**Осконбаев Маралбек Чотоевич<sup>1</sup>,**  
*физика - математика илимдеринин кандидаты, доцент*  
**Осмоналиев Каныбек<sup>2</sup>,**  
*физика-математика илимдеринин доктору, профессор*  
**Сталбек кызы Айзат<sup>1</sup>,**  
*магистр*

**ЗОДИАКАЛДЫК ЖЫЛДЫЗДАРДЫН КООРДИНАТАЛАРЫНЫН ӨЗГӨРҮШҮН  
 АСТРОНОМИЯЛЫК ТИРКЕМЕ АРКЫЛУУ АНЫКТОО**

**Осконбаев Маралбек Чотоевич<sup>1</sup>,**  
*кандидат физико-математических наук, доцент*  
**Осмоналиев Каныбек<sup>2</sup>,**  
*доктор физико-математических наук, профессор,*  
**Сталбек кызы Айзат<sup>1</sup>,**  
*магистр*

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ КООРДИНАТ ЗОДИАКАЛЬНЫХ ЗВЁЗД  
 С ПОМОЩЬЮ АСТРОНОМИЧЕСКОГО ПРИЛОЖЕНИЯ**

**Oskonbaev Maralbek Chotoevich<sup>1</sup>,**  
*Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor*  
**Osmonaliev Kanybek<sup>2</sup>,**  
*Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor*  
**Stalbek's daughter Aizat<sup>1</sup>,**  
*master's degree*

**DETERMINATION OF CHANGES IN THE COORDINATES OF ZODIAC STARS USING  
 AN ASTRONOMICAL APPLICATION**

<sup>1</sup>*Ош мамлекеттик университети, Ош, Кыргыз Республикасы*  
<sup>2</sup>*Ж.Баласагын ат. Кыргыз улуттук университети, Бишкек, Кыргыз Республикасы,*  
<sup>1</sup>*Ошский государственный университет, Ош, Кыргызская Республика*  
<sup>2</sup>*Кыргызский национальный университет им. Ж. Баласагына,*  
*Бишкек, Кыргызская Республика*

<sup>1</sup>*Osh State University, Osh, Kyrgyz Republic*  
<sup>2</sup>*Kyrgyz National University named after J. Balasagyn, Bishkek, Kyrgyz Republic*

**Аннотация.** Бул илимий баяндамада 1000- 1600 – жана 2000 – жылдардагы зокиалдык жылдыздардын эң чоң жылдыздары болгон  $\alpha$  – жылдыздарынын астрономиялык тиркеменин жардамында горизонталдык жана экваториалдык координаттарынын өзгөрүшү аныкталган. Алшира жылдызынын азимуту  $A=101^{\circ}01'$  га өзгөргөн. Хамаль жылдызынын азимуту  $A=133^{\circ}15'$  га өзгөргөн. Альдебаран жылдызынын Азимуту  $A=74^{\circ}24'$  га өзгөргөн. Кастор жылдызынын Азимуту  $A=24^{\circ}22'$  га өзгөргөн. Акубенс жылдызынын Азимуту  $A=27^{\circ}16'$  га өзгөргөн. Регул жылдызынын Азимуту  $A=28^{\circ}19'$  га өзгөргөн. Спика жылдызынын Азимуту  $A=297^{\circ}32'$  га өзгөргөн. Зубен эль Генуби жылдызынын азимуту  $A=272^{\circ}77'$  га өзгөргөн. Антарес жылдызынын азимуту  $A=271^{\circ}03'$  га өзгөргөн. Рукбат жылдызынын азимуту  $A=17^{\circ}17'$  га өзгөргөн. Алгеди жылдызынын азимуту  $A=80^{\circ}00'$  га өзгөргөн. Садальмелек жылдызынын азимуту  $A=17^{\circ}17'$  га өзгөргөн.

**Ачкыч сөздөр:** Зодиакалдык жылдыздар, Альшира, Хамаль, Альдебаран, Кастор, Акубенс, Регул, Спика, Зубен эль Генуби, Антарес, Рукбат, Алгеди, Садальмелек.

**Аннотация.** В данном научном отчёте с помощью астрономического приложения определены изменения горизонтальных и экваториальных координат крупнейших зодиакальных звёзд  $\alpha$ -звёзд в 1000-1600 и 2000 годах. Азимут звезды Альшира изменился на  $A=101^{\circ}01^1$ . Азимут звезды Хамал изменился на  $A=133^{\circ}15^1$ . Азимут звезды Альдебаран изменился на  $A=74^{\circ}24^1$ . Азимут звезды Кастор изменился на  $A=24^{\circ}22^1$ . Азимут звезды Акубенс изменился на  $A=27^{\circ}16^1$ . Азимут звезды Регул изменился на  $A=28^{\circ}19^1$ . Азимут звезды Спика изменился на  $A=297^{\circ}32^1$ . Азимут звезды Зубен-эль-Дженуби изменился на  $A=272^{\circ}77^1$ . Азимут звезды Антарес изменился на  $A=271^{\circ}03^1$ . Азимут звезды Рукбат изменился на  $A=17^{\circ}17^1$ . Азимут звезды Альгеди изменился на  $A=80^{\circ}00^1$ . Азимут звезды Садалмалек изменился на  $A=17^{\circ}17^1$ .

**Ключевые слова:** Зодиакальные звезды, Альшира, Хамаль, Альдебаран, Кастор, Акубенс, Регул, Спика, Зубен-эль-Дженуби, Антарес, Рукбат, Альгеди, Садалмалек.

**Annotation.** In this scientific report, changes in the horizontal and equatorial coordinates of the largest stars of the zodiacal constellations, stars  $\alpha$ , in the years 1000-1600 and 2000 were determined with the help of an astronomical application. Azimuth stars Alshira changed to  $A=101^{\circ}01^1$ . Azimuth stars Hamal changed to  $A=133^{\circ}15^1$ . Azimuth stars Aldebaran changed to  $A=74^{\circ}14^1$ . Azimuth stars Castor changed to  $A=24^{\circ}22^1$ . Azimuth stars Akubens changed to  $A=27^{\circ}16^1$ . Azimuth stars Regula changed to  $A=28^{\circ}19^1$ . Azimuth stars Spica changed to  $A=297^{\circ}32^1$ . Azimuth stars Zuben-el-Genubi changed to  $A=273^{\circ}17^1$ . Azimuth stars Antares changed to  $A=271^{\circ}03^1$ . Azimuth stars Rukbat changed to  $A=17^{\circ}17^1$ . Azimuth star Algedi changed to  $A=80^{\circ}00^1$ . Azimuth stars Sadalmalek changed to  $A=17^{\circ}17^1$ .

**Keywords:** Zodiac stars, Alshira, Hamal, Aldebaran, Castor, Acubens, Regulus, Spica, Zuben-el-Genubi, Antares, Rukbat, Algedi, Sadalmalek.

Астрономиялык байкоолордун ролу байыркы доорлордон бүгүнкү күнгө чейин дээрлик өзгөрүүсүз калган; алар биздин Аалам жөнүндөгү билимбиздин негизин түзөт. Бирок, байкоолордун мүнөзү убакыттын өтүшү менен олуттуу өзгөрдү. Бүгүнкү байкоолор биринчи кезекте астрофизикалык максаттарды көздөсө, 19-кылымдын ортосуна чейин астрономиялык байкоолор негизинен асман телолорунун асмандагы абалын аныктоо менен гана чектелчү.

Позициялык байкоолор аркылуу астрономия чечкен маселелердин бири фундаменталдуу инерциялык координаталар системасын түзүү болуп саналат. Бул маселе болжол менен эки миң жыл мурун, астрономдор асман объектилеринин координаталарын аспаптык аныктоону жүргүзө баштаганда актуалдуу болуп калды. Ошондон бери жылдыздардын позицияларынын каталогдору түзүлүп, иллюстративдик тиркемелер катары колдонулган жылдыз диаграммалары бул диаграммалардын негизги структуралык бирдиги болуп калды.

Ошол эле учурда, жылдыз картасы жылдыздуу асмандын моделин чагылдырган астрометриялык байкоолордун оригиналдуу жана баалуу натыйжасы болуп саналат, ан-

сыз бүтүндөй астрономияны өнүктүрүү мүмкүн эмес. Жылдыздар картасынын тарыхына арналган эмгектердин ичинен Кузьмин А.В (Кузьмин А.В.-2000), Ю. Н.Ефремов (Ефремов, 1993), В.П.Щеглов (Щеглов, 1970), П.В.Щеглов (Щеглов, 1986), Ю. А. Карпенко (Карпенко, 1981), (Розенфельд Б.А., 1984) кароого болот. Бул темадагы чет элдик изилдөөлөрдүн ичинен астрономиянын тарыхынын жалпы экспозициясынан тышкары, өткөндөгү (байыркы доордон баштап) жана азыркы учурдун асман картографиясына, анын ичинде Айдын бетинин картасын түзүү тарыхына сереп салган «Астрономиялык карталар» (Гингерич, 1975) китебин өзгөчө белгилей кетүү керек.

Астрономиялык тиркемелер өтө көптөгөн мүмкүнчүлүктөрдү жаратууда. Алардын жардамы менен 1000 деген, кээде 100 000 деген жылдар алдын ала жайгашкан жылдыздар картасын түзүүгө мүмкүнчүлүк түзүлдү. Бул илимий изилдөө зодиакалдык жылдыздардын бирин тандап алып, ал жылдыздын горизонталдык жана экваториалдык координаталарын аныктоого багытталган.

Бул **изилдөөнүн максаты** – астрономиялык тиркемелерди пайдаланып,

бир нече кылым артдагы зодиалдык жылдыздардын горизонталдык жана экваториалдык координаталарын аныктоо.

**Изилдөө объектиси** Альшира (Балык), Хамаль (Кой), Альдебаран (Букачар), Кастор (Эгиздер), Акубенс (Бөйөн), Регул (Арстан), Спика (Бийкеч), Зубен эль Генуби (Тараза), Антарес (Чаян), Рукбат (Жаачы), Алгеди (Эгиздер) жана Сададьмалек (Суу пери) жылдыздары болуп саналат.

**Изилдөө усулу** катары астрономиялык тиркемелердин бири болгон STAR WALK 2 тиркемеси эсептелет.

Изилдөө үчүн зодиакалдык жылдыздардын ар биринен бирден жылдыз тандалып алынган. Изилдөө 1000 - жыл, 1600 - жыл жана 2000 - жыл аралыктарындагы зодиакалдык жылдыздардын горизонталдык жана экваториалдык координаталарынын өзгөрүшү Star Walk2 программасынын жардамы менен аныкталган.

Балык топ жылдызындагы Альшира жылдызынын азимуту билинерлик өзгөргөн. 1000- жылы азимуту  $A = 266^{\circ}19^1$ , 1600 - жылы  $A = 214^{\circ}56^1$ , ал эми 2000-жылы  $A = 165^{\circ}01^1$  барабар. 1000-жылдан 2000 - жылга чейин  $\alpha$  Балык жылдызынын Азимуту  $A = 101^{\circ}01^1$  га өзгөргөн. Бийиктиги 1000 - жылы  $h = 8^{\circ}47^1$ , 1600-жылы  $h = 44^{\circ}40^1$ , 2000 - жылы  $h = 51^{\circ}18^1$ . Ал эми жантаюу жана түз чыгуу координаталары өзгөргөн эмес.

Кой зодиакалдык топ жылдызынын Хамаль жылдызы алынып, 1000, 1600 жана 2000 жылдын ичиндеги горизонталдык жана экваториалдык координаталарынын өзгөрүшү аныкталган.

Кой топ жылдызындагы Хамаль жылдызынын азимуту билинерлик өзгөргөн. 1000- жылы азимуту  $A = 282^{\circ}38^1$ , 1600 - жылы  $A = 232^{\circ}52^1$ , ал эми 2000-жылы  $A = 149^{\circ}15^1$  барабар. 1000-жылдан 2000 - жылга чейин Хамаль жылдызынын Азимуту  $A = 133^{\circ}15^1$  га өзгөргөн. Бийиктиги 1000 - жылы  $h = 22^{\circ}20^1$ , 1600-жылы  $h = 62^{\circ}40^1$ , 2000 - жылы  $h = 70^{\circ}44^1$ . Ал эми жантаюу жана түз чыгуу координаталары өзгөргөн эмес.

Букачар топ жылдызындагы Альдебаран жылдызынын азимуту билинерлик өзгөргөн. 1000- жылы азимуту  $A = 179^{\circ}34^1$ , 1600 - жылы  $A = 150^{\circ}19^1$ , ал эми 2000-жылы  $A = 105^{\circ}50^1$  барабар. 1000-жылдан 2000 - жылга чейин Альдебаран жылдызынын Азиму-

ту  $A = 73^{\circ}84^1$  га өзгөргөн. Бийиктиги 1000 - жылы  $h = 63^{\circ}21^1$ , 1600-жылы  $h = 62^{\circ}20^1$ , 2000 - жылы  $h = 42^{\circ}19^1$ . Ал эми жантаюу жана түз чыгуу координаталары өзгөргөн эмес.

Эгиздер топ жылдызындагы Кастор жылдызынын азимуту билинерлик өзгөргөн. 1000- жылы азимуту  $A = 87^{\circ}05^1$ , 1600 - жылы  $A = 80^{\circ}32^1$ , ал эми 2000-жылы  $A = 63^{\circ}23^1$  барабар. 1000-жылдан 2000 - жылга чейин Кастор жылдызынын Азимуту  $A = 23^{\circ}82^1$  га өзгөргөн. Бийиктиги 1000 - жылы  $h = 54^{\circ}05^1$ , 1600-жылы  $h = 43^{\circ}45^1$ , 2000 - жылы  $h = 18^{\circ}24^1$ . Ал эми жантаюу жана түз чыгуу координаталары өзгөргөн эмес.

Бөйөн топ жылдызындагы Акубенс жылдызынын азимуту билинерлик өзгөргөн. 1000- жылы азимуту  $A = 92^{\circ}47^1$ , 1600 - жылы  $A = 86^{\circ}15^1$ , ал эми 2000-жылы  $A = 65^{\circ}31^1$  барабар. 1000-жылдан 2000 - жылга чейин Акубенс жылдызынын Азимуту  $A = 27^{\circ}16^1$  га өзгөргөн. Бийиктиги 1000 - жылы  $h = 27^{\circ}17^1$ , 1600-жылы  $h = 16^{\circ}22^1$ , 2000 - жылы  $h = 9^{\circ}19^1$ . Ал эми жантаюу жана түз чыгуу координаталары өзгөргөн эмес.

Арстан топ жылдызындагы Регул жылдызынын азимуту эле өтө билинерлик өзгөргөн. 1000- жылы азимуту  $A = 80^{\circ}30^1$ , 1600 - жылы  $A = 74^{\circ}44^1$ , ал эми 2000-жылы  $A = 52^{\circ}11^1$  барабар. 1000-жылдан 2000 - жылга чейин Регул жылдызынын Азимуту  $A = 28^{\circ}19^1$  га өзгөргөн. Бийиктиги 1000 - жылы  $h = 14^{\circ}36^1$ , 1600-жылы  $h = 3^{\circ}33^1$ , 2000 - жылы  $h = -20^{\circ}36^1$ . Бул деген сөз 1600-жылдары Регул жылдыздары Ош шаарынын көрүнбөйт дегенди билдирет. Ал эми жантаюу координатасы өзгөргөн эмес.

Бийкеч топ жылдызындагы Спика жылдызынын азимуту эле өтө билинерлик өзгөргөн. 1000- жылы азимуту  $A = 62^{\circ}16^1$ , 1600 - жылы  $A = 52^{\circ}29^1$ , ал эми 2000-жылы  $A = 359^{\circ}48^1$  барабар. 1000-жылдан 2000 - жылга чейин Спика жылдызынын Азимуту  $A = 297^{\circ}32^1$  га өзгөргөн. Бийиктиги 1000 - жылы  $h = 36^{\circ}39^1$ , 1600-жылы  $h = 46^{\circ}49^1$ , 2000 - жылы  $h = 67^{\circ}37^1$ . Ал эми жантаюу жана түз чыгуу координаталары өзгөргөн эмес.

Тараза топ жылдызындагы Зубен эль Генуби жылдызынын азимуту эле өтө билинерлик өзгөргөн. 1000- жылы азимуту  $A = 44^{\circ}1^1$ , 1600 - жылы  $A = 25^{\circ}34^1$ , ал эми 2000-жылы  $A = 316^{\circ}78^1$  барабар. 1000-жылдан 2000 - жылга чейин Зубен эль Генуби жылдызынын Ази-

муту  $A=272^{\circ}77^1$  га өзгөргөн. Бийиктиги 1000 – жылы  $h=54^{\circ}$ , 1600-жылы  $h=61^{\circ}43^1$ , 2000 – жылы  $h=59^{\circ}13^1$ . Ал эми жантаюу жана түз чыгуу координаталары өзгөргөн эмес.

Чаян топ жылдызындагы Антарес жылдызынын азимуту эле өтө билинерлик өзгөргөн. 1000– жылы азимуту  $A=4^{\circ}39^1$ , 1600 – жылы  $A=323^{\circ}3^1$ , ал эми 2000-жылы  $A=275^{\circ}44^1$  барабар. 1000-жылдан 2000 –жылга чейин Антарес жылдызынын Азимуту  $A=271^{\circ}03^1$  га өзгөргөн. Бийиктиги 1000 – жылы  $h=4^{\circ}39^1$ , 1600-жылы  $h=71^{\circ}59^1$ , 2000 – жылы  $h=49^{\circ}31^1$ . Ал эми жантаюу жана түз чыгуу координаталары өзгөргөн эмес.

Жаачы топ жылдызындагы Рукбат жылдызынын азимуту эле өтө билинерлик өзгөргөн. 1000– жылы азимуту  $A=253^{\circ}42^1$ , 1600 – жылы  $A=250^{\circ}21^1$ , ал эми 2000-жылы  $A=237^{\circ}00^1$  барабар. 1000-жылдан 2000 – жылга чейин Рукбат жылдызынын Азимуту  $A=16^{\circ}77^1$  га өзгөргөн. Бийиктиги 1000 – жылы  $h=60^{\circ}13^1$ , 1600-жылы  $h=49^{\circ}25^1$ , 2000

– жылы  $h=25^{\circ}10^1$ . Ал эми жантаюу жана түз чыгуу координаталары өзгөргөн эмес.

Текечер топ жылдызындагы Алгеди жылдызынын азимуту билинерлик өзгөргөн. 1000– жылы азимуту  $A=331^{\circ}51^1$ , 1600 – жылы  $A=272^{\circ}32^1$ , ал эми 2000-жылы  $A=251^{\circ}51^1$  барабар. 1000-жылдан 2000 –жылга чейин Алгеди жылдызынын Азимуту  $A=80^{\circ}00^1$  га өзгөргөн. Бийиктиги 1000 – жылы  $h=59^{\circ}35^1$ , 1600-жылы  $h=24^{\circ}19^1$ , 2000 – жылы  $h=1^{\circ}41^1$ . Ал эми жантаюу жана түз чыгуу координаталары өзгөргөн эмес.

Суукуяр топ жылдызындагы Садалмелек жылдызынын азимуту эле өтө билинерлик өзгөргөн. 1000– жылы азимуту  $A=253^{\circ}42^1$ , 1600 – жылы  $A=250^{\circ}21^1$ , ал эми 2000-жылы  $A=237^{\circ}00^1$  барабар. 1000-жылдан 2000 –жылга чейин Садалмелек жылдызынын Азимуту  $A=16^{\circ}77^1$  га өзгөргөн. Бийиктиги 1000 –жылы  $h=60^{\circ}13^1$ , 1600-жылы  $h=49^{\circ}25^1$ , 2000 – жылы  $h=25^{\circ}10^1$ . Ал эми жантаюу жана түз чыгуу координаталары өзгөргөн эмес.

**№1 таблица. Зодиакалдык жылдыздардын горизонталдык жана экваториалдык параметрлеринин өзгөрүшү**

Зодиакалдык топ жылдыз жана анын жылдызынын аталышы	Жылдардын координаттарынын өлчөнгөн айы, сааты жана жылы.	Түз чыгуу-суу ( $\alpha$ ) [°]	Жантаюусу ( $\sigma$ ) [°]	Азимуту (A) [°]	Бийиктиги (h) [°]	Күндөн алыстыгы [жарык жылы]
Кой Хамаль	15.05.1000 12:00	$2^{\circ}07^m$	$23^{\circ}27'$	$282^{\circ}38'$	$22^{\circ}20'$	<sup>66</sup>
	15.05.1600 12:00	$2^{\circ}07^m$	$23^{\circ}27'$	$232^{\circ}52'$	$62^{\circ}40'$	<sup>66</sup>
	15.05.2000 12:00	$2^{\circ}07^m$	$23^{\circ}27'$	$149^{\circ}15'$	$70^{\circ}44'$	<sup>66</sup>
Букачар Альдебаран	15.05.1000 12:00	$4^{\circ}35^m$	$16^{\circ}30'$	$179^{\circ}34'$	$63^{\circ}21'$	<sup>65</sup>
	15.05.1600 12:00	$4^{\circ}35^m$	$16^{\circ}30'$	$150^{\circ}19'$	$62^{\circ}20'$	<sup>65</sup>
	15.05.2000 12:00	$4^{\circ}35^m$	$16^{\circ}30'$	$105^{\circ}50'$	$42^{\circ}19'$	<sup>65</sup>

Эгиздер Кастор	15.05.1000	7 <sup>c</sup> 34 <sup>m</sup>	31°53'	87°05'	54°48'	52
	12:00					
	15.05.1600	7 <sup>c</sup> 34 <sup>m</sup>	31°53'	80°32'	43°45'	52
	12:00					
Суу чаян Акубенс	15.05.2000	7 <sup>c</sup> 34 <sup>m</sup>	31°53'	63°23'	18°24'	52
	12:00					
	15.05.1000	8 <sup>c</sup> 58 <sup>m</sup>	11°51'	92°47'	27°17'	174
	12:00					
Арстан Регул	15.05.1600	8 <sup>c</sup> 58 <sup>m</sup>	11°51'	86°15'	16°22'	174
	12:00					
	15.05.2000	8 <sup>c</sup> 58 <sup>m</sup>	11°51'	65°31'	-9°19'	174
	12:00					
Бийкеч Спика	15.05.1000	10 <sup>c</sup> 08 <sup>m</sup>	11°58'	80°30'	14°36'	77
	12:00					
	15.05.1600	10 <sup>c</sup> 08 <sup>m</sup>	11°58'	74°44'	3°33'	77
	12:00					
Тараза Зубен эль Генуби	15.05.2000	10 <sup>c</sup> 08 <sup>m</sup>	11°58'	52°11'	-20°36'	77
	12:00					
	15.05.1000	13 <sup>c</sup> 25 <sup>m</sup>	-11°09'	62°16'	-36°39'	262
	12:00					
Чаян Антарес	15.05.1600	13 <sup>c</sup> 25 <sup>m</sup>	-11°09'	52°29'	-46°49'	262
	12:00					
	15.05.2000	13 <sup>c</sup> 25 <sup>m</sup>	-11°09'	359°48'	-60°37'	262
	12:00					
Жаачы Рукбат	15.05.1000	14 <sup>c</sup> 50 <sup>m</sup>	-16°02'	44°01'	-54°00'	77
	12:00					
	15.05.1600	14 <sup>c</sup> 50 <sup>m</sup>	-16°02'	25°34'	-61°43'	77
	12:00					
Текечер Алгеди	15.05.2000	14 <sup>c</sup> 50 <sup>m</sup>	-16°02'	316°28'	-59°13'	77
	12:00					
	15.05.1000	16 <sup>c</sup> 29 <sup>m</sup>	-26°25'	4°39'	-73°21'	604
	12:00					
Жаачы Рукбат	15.05.1600	16 <sup>c</sup> 29 <sup>m</sup>	-26°25'	323°08'	-71°59'	604
	12:00					
	15.05.2000	16 <sup>c</sup> 29 <sup>m</sup>	-26°25'	275°44'	-49°31'	604
	12:00					
Текечер Алгеди	15.05.1000	19 <sup>c</sup> 23 <sup>m</sup>	-40°36'	253°42'	-60°13'	170
	12:00					
	15.05.1600	19 <sup>c</sup> 23 <sup>m</sup>	-40°36'	250°21'	-49°25'	170
	12:00					
Текечер Алгеди	15.05.2000	19 <sup>c</sup> 23 <sup>m</sup>	-40°36'	237°00'	-25°10'	170
	12:00					
	15.05.1000	20 <sup>c</sup> 18 <sup>m</sup>	-12°32'	331°51'	-59°35'	109
	12:00					
Текечер Алгеди	15.05.1600	20 <sup>c</sup> 18 <sup>m</sup>	-12°32'	272°32'	-24°19'	109
	12:00					
	15.05.2000	20 <sup>c</sup> 18 <sup>m</sup>	-12°32'	251°51'	1°41'	109
	12:00					

Суу куяр Садалме- лек	15.05.1000	22°05 <sup>м</sup>	-0°19'	307°17'	-35°5'	759
	12:00					
	15.05.1600	22°05 <sup>м</sup>	-0°19'	263°48'	3°47'	759
	12:00					
Балык Альшира	15.05.2000	22°05 <sup>м</sup>	-0°19'	240°56'	29°10'	759
	12:00					
	15.05.1000	2°02 <sup>м</sup>	2°45'	266°19'	8°47'	139
	12:00					
	15.05.1600	2°02 <sup>м</sup>	2°45'	214°56'	44°40'	139
	12:00					
	15.05.2000	2°02 <sup>м</sup>	2°45'	165°01'	51°18'	139
	12:00					

### Корутунду

Куралданбаган көз менен асман телолорун бул тиркеменин жардамында убакыт боюнча каалаган кылымга барып, асман телолорунун абалын аныктоого болору аныкталды.

Star Walk 2 тиркемесин колдонуу менен зодиакалдык жылдыздардын горизонталдык жана экваториалдык координаталарынын бир, бир жарым жана эки кылымдагы өзгөрүүлөрү аныкталды.

Star Walk 2 тиркемесинин жардамында зодиакалдык жети жылдыздын жылдыздар тобунун асман параметрлеринин 1000, 1600

жана 2000-жылдар үчүн өзгөртүп, анын асман координаталары аныкталды.

Виртуалдык изилдөөлөрдүн жардамында зодиакалдык жылдыздардын горизонталдык координаталары болгон азимуту менен бийиктиги гана өзгөрөрү, ал эми экваториалдык координаталары-түз чыгуу координатасы менен жантаюу координаталары өзгөрбөгөндүгү аныкталды.

Ошентип Star Walk 2 тиркемесинин жардамы менен асман телолорунун абалын каалаган мезгилде, каалаган жерде байкоого болоору сунушталды.

### Колдонулган адабияттар:

1. Арат, 1992; Явления // В сб. Небо, наука,.,., перевод и комментарии А.А. Россиуса, под редакцией Н.А. Фёдорова и П.В. Щеглова. Москва, Издательство Московского университета, с.24-61, комментарии; с. 119-144.

2. Барсегян А.Ж., 1988; Анализ наблюдений небесных явлений в средневековой Армении для решения современных астрономических задач // Дис. канд. физ.-мат. наук, Ереван. 152 с

3. Белый Ю.А., 1980; Об источнике изображения астрономических инструментов в русской математической рукописи начала XVII века // Историко-астрономические исследования. Вып. XV, С. 181-185.

4. Вселенная и человечество (Том III). Исследование Вселенной. Общ. ред. Г. Крэмера. Пер. с нем. под общ. ред. проф. А.С. Догеля. С.-Петербург, 1896. с, 1-184.

5. Гевелий Я., 1770; Атлас звездного неба. Ред. В.П. Щеглов. Ташкент "ФАН" Узбекской ССР. 56 карт.

6. Гуляев А.П., 1995; Астрометрия зодиакальных созвездий // Вестник древней истории №1 (212), с. 166-169.

7. Гурштейн А.А., 1992; Реконструкция происхождения зодиакальных созвездий // На рубежах познания Вселенной 1991 (Историко-астрономические исследования, вып. XXIII), Москва, "Наука", с. 19-63.

8. Дамбис А.К., Ефремов Ю.Н., Дурлевич О.В., 1998; Датировка эпохи наблюдения звезд каталога "Альмагест" по собственным движениям // Доклады международной научно-методической конференции. Москва. ГАИШ (19-24 ноября 1997). С.78-82.

9. История открытия Нептуна. Дата обращения: 6 мая 2014. Архивировано 4 марта 2016 года.

10. А. Деревянкин. Планета, открытая на кончике пера. Элементы (4 февраля 2022). Дата обращения: 6 февраля 2022. Архивировано 6 февраля 2022 года.
11. Гребеников Е. А., Рябов Ю. А. Поиски и открытия планет. — 2-е изд., перераб. и доп.. — М.: Наука, 1984. — 224 с. — (Главная редакция физико-математической литературы).
12. 58. Мессер Я., 1901; Звёздный атлас., Издание К. Л. Риккера, С.Петербург, 28 карт.
13. Митчелл О.М., 1868; Небесные светила или планетные и звёздные миры (Великие открытия и теории новейшей астрономии). Пер. с английского А. Мина. Москва. 418 с.
14. Розенфельд Б.А., 1984; Астрономия стран ислама // Историко-астрономические исследования. Вып. XVII. С. 67= 122. Москва. Наука.
15. Кузьмин А.В. история звездной карты в XIX-XX веках. Автореферат на соис.учен.степени к.ф.-м.н.-Москва. -2000 г. стр.19
16. Гингерич О., 1993; Астрономия времён Колумба.// В мире науки, №1, с.60-66.

УДК 546.34.882.4.536.361

**Осконбаев Маралбек Чотоевич<sup>1</sup>**,  
*кандидат физико-математических наук, доцент*  
**Хасанова Гүлкан Абдураимовна<sup>1</sup>**,  
*PhD докторант*  
**Ахмадалиев Бозорбой Жоборалиевич<sup>2</sup>**,  
*PhD доктор философии*  
**Сиддиков Рустамжон Уктамович<sup>3</sup>**,  
*старший преподаватель*  
**Сулаймонов Хусанбой Маннопович<sup>2</sup>**,  
*PhD доктор философии*  
**Юлдашев Носиржон Хайдарович<sup>2</sup>**,  
*доктор физико-математических наук, профессор*

**НЕКОТОРЫЕ ПРИНЦИПЫ СОЗДАНИЯ ПЛЕНОЧНОГО ТЕНЗОДАТЧИКА НАКОПЛЕНИЯ  
 УСТАЛОСТНЫХ ПОВРЕЖДЕНИЙ НА ОСНОВЕ ТВЕРДОГО РАСТВОРА  $(\text{Bi}_x \text{Sb}_{1-x})_2 \text{Te}_3$**

**Осконбаев Маралбек Чотоевич<sup>1</sup>**,  
*физика-математика илимдеринин кандидаты, доцент*  
**Хасанова Гүлкан Абдураимовна<sup>1</sup>**,  
*PhD докторант*  
**Ахмадалиев Бозорбой Жоборалиевич<sup>2</sup>**,  
*философия илимдеринин PhD доктору*  
**Сиддиков Рустамжон Уктамович<sup>3</sup>**,  
*ага окутуучу*  
**Сулаймонов Хусанбой Маннопович<sup>2</sup>**,  
*философия илимдеринин PhD доктору*  
**Юлдашев Носиржон Хайдарович<sup>2</sup>**,  
*физика-математика илимдеринин доктору, профессор*

**$(\text{Bi}_x \text{Sb}_{1-x})_2 \text{Te}_3$  КАТУУ ЭРИТМЕСИНИН НЕГИЗИНДЕ ЧАРЧОО ЗЫЯНЫН ТОПТОО ҮЧҮН  
 ТЕНЗОДАТЧИК ПЛЕНКАСЫН ТҮЗҮҮНҮН АЙРЫМ ПРИНЦИПТЕРИ**

**Oskonbaev Maralbek Chotoevich<sup>1</sup>**,  
*Associate Professor, Candidate of Physical and Mathematical Sciences*  
**Hasanova Gulkan Abduraimovna<sup>1</sup>**,  
*PhD doctoral student*  
**Akhmadaliev Bozorboy Zhoboralievich<sup>2</sup>**,  
*PhD Doctor of Philosophy*  
**Siddikov Rustamzhon Uktamovich<sup>3</sup>**,  
*Senior Lecturer*  
**Sulaimonov Khusanboy Mannopovich<sup>2</sup>**,  
*PhD Doctor of Philosophy*  
**Yuldashev Nosirzhon Khaidarovich<sup>2</sup>**,  
*Professor, Doctor of Physical and Mathematical Sciences*

**SOME PRINCIPLES OF CREATING A FILM STRAIN CELL FOR ACCUMULATION OF FATIGUE  
 DAMAGE BASED ON A SOLID SOLUTION  $(\text{Bi}_x \text{Sb}_{1-x})_2 \text{Te}_3$**

<sup>1</sup>Ошский государственный университет, Ош, Кыргызская Республика

<sup>2</sup>Ферганский государственный технический университет, Фергана,  
Республика Узбекистан

<sup>3</sup>Кокандский государственный университет, Коканд, Республика Узбекистан

<sup>1</sup>Osh mamlekettik universiteti, Osh, Kyrgyz Respublikasy

<sup>2</sup>Fergana mamlekettik texnika lyk universiteti, Fergana, Ozbekstan Respublikasy

<sup>3</sup>Kokon mamlekettik universiteti, Fergana, Ozbekstan Respublikasy

<sup>1</sup>Osh State University, Osh, Kyrgyz Republic

<sup>2</sup>Fergana State Technical University, Fergana, Uzbekistan Republic

<sup>3</sup>Kokon State University, Kokon, Uzbekistan Republic

**Аннотация.** Приводятся результаты исследования деформационных характеристик поликристаллических пленок  $(\text{Bi}_{0.25}\text{Sb}_{0.75})_2\text{Te}_3$  при односторонних циклических механических напряжениях. Пленки получались на полиамидной подложке методом термовакуумной конденсации молекулярных пучков и обладали столбчатой пористой структурой с размерами отдельных кристаллических зерен 2,0-2.5 мкм. Изучалось влияние статических и циклических деформаций на электрическое сопротивление и вольт-амперные характеристики тензорезистивных пленок с целью изготовления на их основе тензодатчиков накопления усталостных повреждений. Показано, что при комнатной температуре в таких пленках обнаруживается высокая статическая тензочувствительность  $\approx 10^3$  отн. ед. и наблюдается существенный гистерезис изменения сопротивления при малых количествах циклов знакопеременных деформаций.

**Ключевые слова:** узкозонный полупроводник  $(\text{Bi}_{0.25}\text{Sb}_{0.75})_2\text{Te}_3$ , пористые поликристаллические пленки, тензочувствительность, циклическая знакопеременная деформация, гистерезис изменения электрического сопротивления с деформаций, тензодатчик накопления усталостных повреждений.

**Аннотация.** Поликристаллдык пленкалардын  $(\text{Bi}_{0.25}\text{Sb}_{0.75})_2\text{Te}_3$  бир тараптуу циклдик механикалык чыңалуудагы деформациялык мүнөздөмөлөрүн изилдөөнүн натыйжалары берилген. Пленкалар молекулярдык нурлардын термиканык вакуумдук конденсациясы ыкмасын колдонуу менен полиамиддик субстраттан алынган жана 2,0–2,5 мкм жеке кристаллдык бүртүкчөлөрү менен мамычалык тешиктүү түзүлүшкө ээ болгон. Алардын негизинде чарчоо зыянын топтоо үчүн тензометрлерди алуу максатында статикалык жана циклдик деформациялардын электр каршылыгына жана вольт-ампер мүнөздөмөлөрүнө тийгизген тасири изилденген. Бөлмө температурасында мындай пленкалар  $\approx 10^3$  салыштырмалуу бирдиктин статикалык деформацияга жогорку сезгичтигин көрсөтөөрү жана алмашкан деформациялардын аз сандагы циклдеринде каршылыктын өзгөрүшүнүн олуттуу гистерезиси байкалганы көрсөтүлгөн.

**Ачык сөздөр:** кууш тилкелүү жарым өткөргүч  $(\text{Bi}_{0.25}\text{Sb}_{0.75})_2\text{Te}_3$ , тешиктүү поликристаллдык пленкалар, деформация сезгичтиги, циклдик алмашып туруучу деформация, деформация менен электр каршылыгынын өзгөрүү гистерезиси, чарчоо зыянын топтоо тензомери.

**Abstract.** The results of a study of the deformation characteristics of polycrystalline films  $(\text{Bi}_{0.25}\text{Sb}_{0.75})_2\text{Te}_3$  under one-sided cyclic mechanical stresses are presented. The films were obtained on a polyamide substrate using the method of thermal vacuum condensation of molecular beams and had a columnar porous structure with individual crystalline grain sizes of 2.0–2.5  $\mu\text{m}$ . The influence of static and cyclic deformations on the electrical resistance and volt-ampere characteristics of strain gauge films was studied with the aim of producing strain gauges for fatigue damage accumulation based on them. It has been shown that at room temperature, such films exhibit high static strain sensitivity  $\approx 10^3$  relative units and a significant hysteresis in resistance changes is observed with a small number of cycles of alternating deformations.

**Key words:** narrow-band semiconductor  $(\text{Bi}_{0.25}\text{Sb}_{0.75})_2\text{Te}_3$ , porous polycrystalline films, strain sensitivity, cyclic alternating deformation, hysteresis of change in electrical resistance with deformation, fatigue damage accumulation strain gauge.

### Введение

В настоящее время одним из наиболее распространенных и информативных способов изучения тонкопленочных структур является тензорезистивный метод исследования свойств полупроводниковых материалов, широко применяющийся при изготовлении электрических сенсоров [1-4], датчиков давления и перемещений [5-7]. С точки зрения технического применения тонких полупроводниковых пленок в качестве тензочувствительного элемента вольтамперная характеристика (ВАХ) играет особую роль, в частности, она позволяет судить об их энергетических возможностях и пригодности для тензометрического измерения. При этом важным параметром является максимально допустимая потребляемая мощность тензорезистора в заданных условиях эксплуатации. Это связано с тем, что полупроводниковые пленки очень чувствительны к различным излучениям и изменениям температуры, а при пропускании больших токов через пленочные образцы может происходить их лишней джоуле нагрев, отражающийся соответствующим образом на их рабочих параметрах. Так, он может приводить к нелинейной ВАХ и, тем самым, к увеличению погрешности в показаниях приборов. Кроме того, для обеспечения безопасной эксплуатации конструкций, типа летательных аппаратов, и предотвращения их разрушения в процессе работы необходимо знать количество циклов деформации, которых испытала данная конструкция. При этом успешно используются пленочные тензодатчики накопления усталостного повреждения (ТНУП) на основе узкозонных полупроводников [5-10], изменяющие свои характеристики с увеличением числа действующих на них деформационных циклов.

Известно [7-11], что основными электрофизическими характеристиками тензодатчиков являются исходные величины электрического сопротивления  $R_0$ , тензочувствительности  $K_0$  и изменения их при воздействии внешних факторов, как циклическая механическая деформация  $\varepsilon$ , температура  $T$ , частота питающего переменного напряжения  $f$  и т.п. В последнее время должное внимание уделяется изучению мало- и многоциклового усталости тензодатчиков из низкоразмерных структур при различных амплитудах деформации [12-16].

К сегодняшнему дню показано [9-11], что природа аномально высокой тензочувствительности  $K \approx 10^4$  отн. ед. пористых пленок  $(Bi_xSb_{1-x})_2Te_3$  связана с образованием микротрещин при высоких амплитудах деформации  $\varepsilon \approx 10^{-3}$ , однако механизмы циклических деформаций при произвольных амплитудах и количествах напряжений до сих пор остается до конца неясными.

Настоящая работа посвящена изучению влияния количества циклов  $N$  и амплитуды  $\varepsilon$  знакопеременной деформации на характеристики пленок из твердого раствора  $(Bi_xSb_{1-x})_2Te_3$  по изменению величины ее электросопротивления и коэффициента тензочувствительности (КТЧ), определяемой формулой

$$K = \frac{\Delta R}{R_0 \cdot \varepsilon}, \quad (1)$$

где  $\varepsilon = \Delta \ell / \ell_0$  и  $\Delta \ell = \ell(\varepsilon) - \ell_0$  - величины относительной и абсолютной деформации,  $\Delta R = R(\varepsilon) - R_0$ , а  $R_0$  - электрическое сопротивление образца при  $\varepsilon = 0$ . Рассматривается ВАХ и температурная зависимость сопротивления тензорезистивных пленок  $(Bi_{0,25}Sb_{0,75})_2Te_3$  под действием статических и циклических знакопеременных деформаций (ЦЗПД) с целью изготовления на их основе ТНУП [17-21].

### 1. Технология и методика измерения

Поликристаллические пленки из  $(Bi_xSb_{1-x})_2Te_3$  с площадью  $5 \times 20$  мм<sup>2</sup> получались методом термического испарения в вакууме с давлением остаточных паров  $(1 - 3) \cdot 10^{-2}$  Па из смеси порошков  $Bi_2Te_3$  и  $Sb_2Te_3$  в соотношении  $x$  и  $(1 - x)$  мол %. Температура подложки из полиамида ПМ-1 варьировалась в интервале  $T_s = 323 - 423$  К, а скорость роста пленок  $-W = 150 - 450$  Å/с. Наиболее тензочувствительные ( $K \approx 10^3$  отн. ед.) пленки с оптимальными рабочими характеристиками получались при толщинах  $d \approx 3 - 5$  мкм,  $T_s = 363$  К,  $W = 200$  Å/с и при значении  $x = 0.25$ . Методика измерения деформационных характеристик пленок была выбрана также, как и в работе [1,7-9]. Образцы не подвергались предварительной термической обработке. Свежеприготовленные пленки обладали нестабильным КТЧ, обусловленном наличием сильных неравновесных внутренних механических напряжений (ВМН) [11]. С ростом числа  $N$  ЦЗПД величина  $K$  монотонно уменьшается, что говорит о возможности использования изготовленных пленок в качестве ТНУП.

Электронно-микроскопические и рентгеноструктурные исследования [3,7] показали, что выращенные слои  $(Bi_{0,25}Sb_{0,75})_2Te_3$  обладали поликристаллической столбчатой и пористой структурой. Размеры отдельных кристаллических зерен составляли 2 – 2.5 мкм.

Для снятия деформационных характеристик ( $DX$ ) исследуемые пленки из  $(Bi_{0,25}Sb_{0,75})_2Te_3$  наклеивались на балку равного сопротивления из титанового сплава. Деформирование пленок проводилось изгибом балки. При этом значение относительной деформации  $\varepsilon$  рассчитывалось по величине изгиба консольно-закрепленной балки по известному выражению

$$\varepsilon = 3ab\Delta x / \ell^3, \quad (2)$$

где  $a$  - расстояние от нейтральной оси консольной балки до пленки,  $b$  - расстояние от точки приложения силы до середины пленочного образца,  $\Delta x$  - изгиб свободного конца пластинки в точке приложения силы,  $\ell$  - длина пластинки между опорной точкой и точкой приложения силы. Значение деформации варьировалось в интервале от  $\varepsilon = +2 \cdot 10^{-3}$  до  $\varepsilon = -2 \cdot 10^{-3}$  отн. ед.

Тензометрические измерения производились при различных интервалах температур окружающей его среды. С целью уменьшения погрешности измерения требуется изготовить тензодатчики с минимальными температурными коэффициентами сопротивления и тензочувствительности

$$\alpha = dR/R^0 dT, \quad \alpha' = dK/K^0 dT, \quad (3)$$

где  $R^0$  и  $K^0$  - сопротивление и  $KTC$  при температуре  $T_0 = 273^0 K$  в заданном механическом состоянии пленок. Изучение этих параметров полупроводниковых тензодатчиков в определенной степени помогут объяснить природу физических процессов, происходящих в такой неоднородной структуре, как пористая поликристаллическая пленка, подвергающаяся механической деформации [5].

Температурная зависимость тензометрических параметров изготовленных пленок  $(Bi_{0,25}Sb_{0,75})_2Te_3$  была исследована в диапазоне 293-455 K. Оказалось, что при высоких температурах подложки  $T_s \approx 413 K$  и больших скоростях конденсации  $W \approx 400 \text{ \AA}/c$  получаются более плотные пленки с небольшим  $KTC$ . Сопротивление таких пленок имеет металлическую зависимость с температурой ( $\alpha = 0,85 \cdot 10^{-4} K^{-1}$ ) и оно практически не изменялось после воздействия ЦЗПД.

## 2. Результаты эксперимента и их обсуждений

### 2.1. Область малых значений $N$

Здесь приводятся результаты изучения абсолютного  $\Delta R = R(\varepsilon) - R_0$  и относительного  $\Delta R(\varepsilon)/R_0$  изменения электросопротивления свежеприготовленных образцов при малом числе цикла механических нагружений с изменением его не только по значению, но и по знаку. Например, на первом этапе рассмотрим область деформации растяжения от  $\varepsilon = 0$  до  $\varepsilon = \varepsilon_0$ , во втором этапе получим в направлении снятия деформаций, т.е. при изменении  $\varepsilon$  от  $\varepsilon_0$  до 0, в третьем и четвертом этапах излучаем область деформаций сжатия, сначала от  $\varepsilon = 0$  до  $\varepsilon = -\varepsilon_0$ , а затем от  $\varepsilon = -\varepsilon_0$  до  $\varepsilon = 0$  и завершаем один цикл знакопеременных деформаций. Изготовленные тензочувствительные пленки из  $(Bi_{0,25}Sb_{0,75})_2Te_3$  выдержали достаточно большие числа циклических знакопеременных деформаций (ЦЗПД). Очевидно, что представляет интерес изучать  $\Delta R$  пленок в предельно малом и большом количествах  $N$  ЦЗПД.

На рис. 1а,б представлены  $\Delta R$  при малых значениях  $N$ , причем, здесь сначала изучалось изменение  $R$  пленки только при 4-х циклах деформаций растяжения ( $0 \leq \varepsilon \leq 0.9 \cdot 10^{-2}$  отн.ед.), а потом при 4-х циклах деформаций сжатия ( $-0.9 \cdot 10^{-2} \leq \varepsilon \leq 0$ ). Видно, что когда сначала нагрузку плавно увеличиваем до  $\varepsilon_0$  и затем также плавно снимаем ее до 0, то наблюдаем остаточного изменения относительного сопротивления  $\Delta R_{ост}^0(N)/R_0$ . Эта величина различна для растяжения и сжатия, что отражает наличия внутреннего механического напряжения ( $ВМН$ ) в пленке. Видно, что в данном случае  $ВМН$  является отрицательной (сжатое  $\varepsilon_0 < 0$  [2]), кроме того, она монотонно уменьшается с ростом  $N$ .

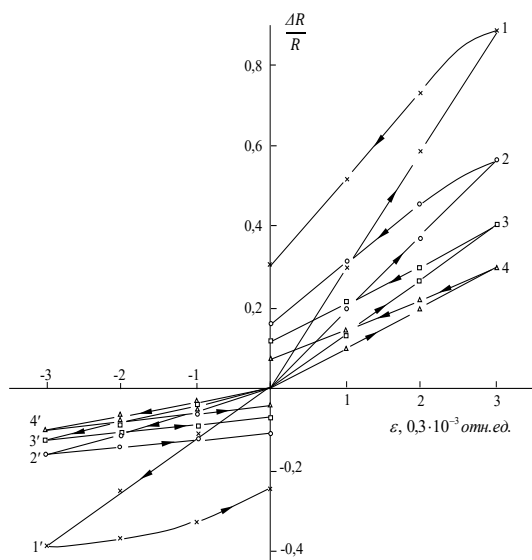


Рис.1а. Деформационная характеристика свежеприготовленной пленки  $(Bi_{0.25}Sb_{0.75})_2Te_3$  при 4-х циклах деформации растяжения (кривые 1-4 со стрелками направления нагрузений) и сжатия (кривые 1'-4') при комнатной температуре.

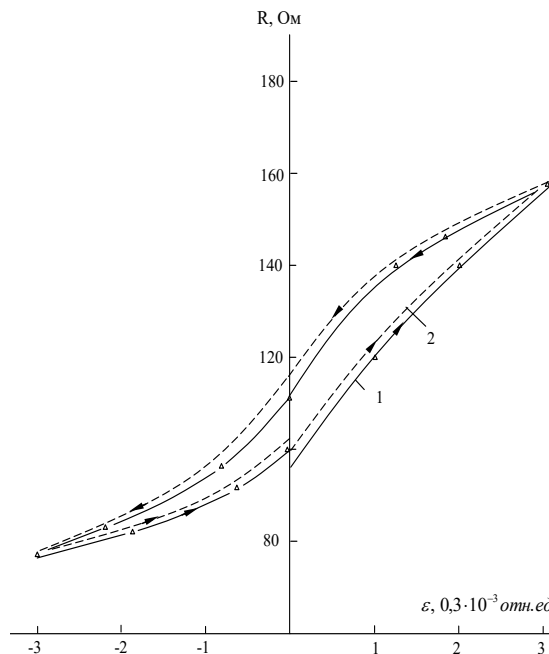


Рис. 1б. Гистерезис изменения сопротивления пленки из  $(Bi_{0.25}Sb_{0.75})_2Te_3$  под действием ЦЗПД. Незамкнутый гистерезис со штрихованными линиями соответствует второму ЦЗПД ( $N=1$ ).

Таким образом, в пленках  $(Bi_{0.25}Sb_{0.75})_2Te_3$  наблюдается существенный гистерезис изменения сопротивления  $R_N(\epsilon)$  при одном ЦЗПД ( $N = 1$ ) с незамкнутым концом. Следующие гистерезисные петли непосредственно продолжают предыдущий и смещаются в область больших значений  $R$  (рис.1б).

На рис. 2 приведена зависимость изменения сопротивления и  $KTC$  от числа ЦЗПД в области  $1 \leq N \leq 4$ . Видно, что величина  $K$  резко уменьшается, а  $R$  -увеличивается, с ростом количества ЦЗПД при малом  $N$ , а затем переходят к плавному монотонному спаду. По-видимому, начальные участка зависимости  $R_\epsilon(N)$  и  $K_\epsilon(N)$  обусловлены сильно неравновесными  $BMH$  не подвергнутых к термической обработке пленок  $(Bi_{0.25}Sb_{0.75})_2Te_3$ .

## **2.2. Область больших значений количества циклов деформаций. Стабилизация тензометрических параметров пленок**

На рис. 3 приведены статические деформационные характеристики пленок до и после воздействия циклической знакопеременной нагрузки в больших количествах ( $N \gg 1$ ). Видно, что до воздействия деформационных циклов сопротивление пленки практически линейно возрастает под действием деформации растяжения, в то время как зависимость сопротивления от деформации сжатия нелинейна, и величина коэффициента тензочувствительности при деформации сжатия заметно меньше, чем при деформации растяжения (кривая 1).

После воздействия деформационных циклов ( $N \cong 5 \cdot 10^5$ ) нелинейность статической  $\Delta X$  пленки уменьшается, ее тензочувствительность при деформации сжатия увеличивается, а при растяжении падает (кривая 2), т.е. несимметричность практически исчезает.

На рис. 4а и рис. 4б приведены зависимость относительного изменения сопротивления  $\Delta R/R_0$  и коэффициента тензочувствительности  $K$  от числа циклов деформации при разных ее амплитудах  $\varepsilon$ . Видно, что с увеличением числа циклов знакопеременной деформации и ее амплитуды относительное изменение сопротивления растет, а их тензочувствительность  $K$  уменьшается и при значениях ( $N = 5 \cdot 10^5$ ) в зависимостях  $R(N), K(N)$  наблюдается тенденция к насыщению.

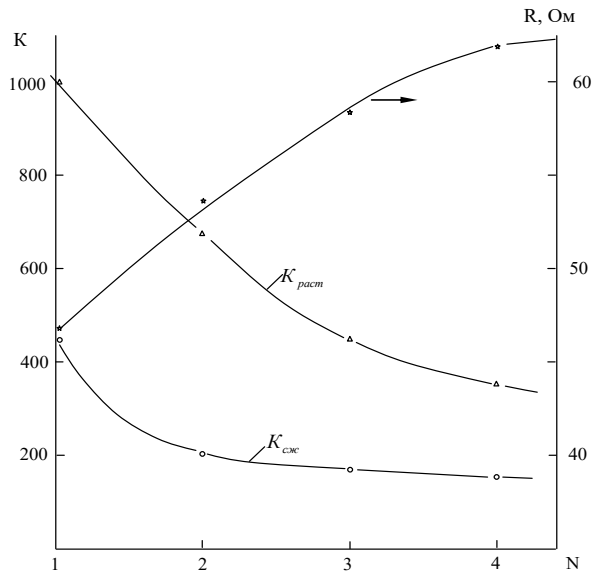


Рис.2. Изменение сопротивления  $R$  и КТЧ с ростом числа ЦЗПД в области  $1 \leq N \leq 4$ .

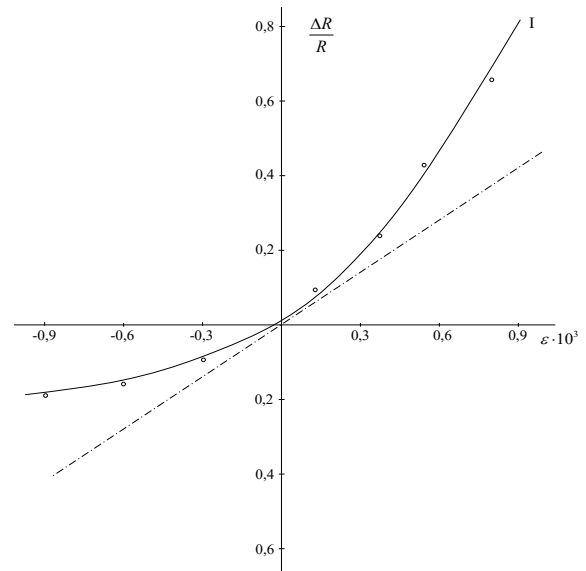


Рис. 3. Деформационная характеристика относительного изменения сопротивления пленок из  $(Bi_{0,25}Sb_{0,75})_2Te_3$  до (кривая 1) и после (2) циклической деформации. Для кривой 2  $N = 5 \cdot 10^5$ .

На наш взгляд, полученные здесь экспериментальные факты могут быть объяснены на основе модели пленки как системы из микроконтактирующих проводящих зерен, диэлектрический зазор между которыми изменяется с деформацией. Действительно, после воздействия необходимого количества циклов знакопеременной деформации ширина зазора между кристаллическими зернами увеличивается в результате истирания контактирующих поверхностей зерен, приводящего к росту сопротивления пленки и снятию в той или иной степени предварительных ВМН. Последнее, в свою очередь, обуславливает стремление к линейному и симметричному виду  $\Delta X$  пленки при действии циклов деформации.

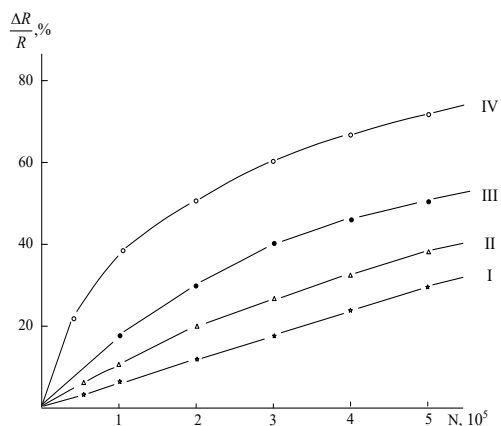


Рис. 4а. Относительное изменение сопротивления тензопленок  $(Bi_xSb_{1-x})_2Te_3$  от числа циклов знакопеременных деформаций  $N$ , при разных амплитудах деформаций  $\varepsilon \cdot 10^{-3}$ : I -  $\pm 0.25$ , II -  $\pm 0.5$ , III -  $\pm 0.75$  и IV -  $\pm 1.0$ .

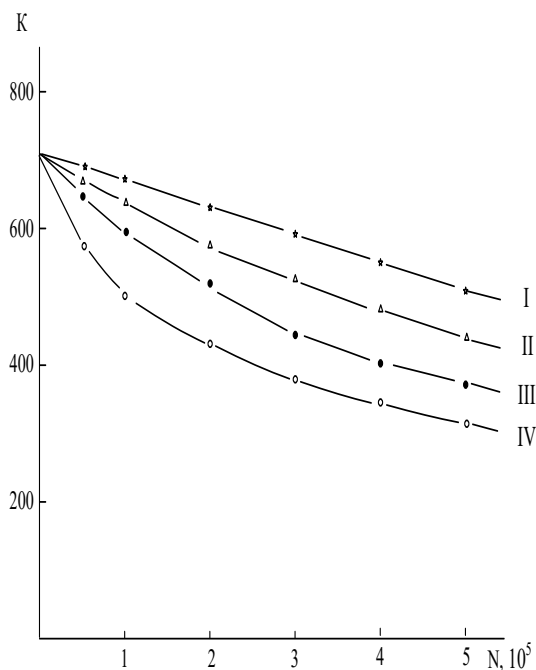


Рис. 4б. Зависимость  $K$  пленок от числа деформационных циклов при амплитудах относительных деформаций  $\varepsilon \cdot 10^{-3}$ : I -  $\pm 0.25$ , II -  $\pm 0.5$ , III -  $\pm 0.75$  и IV -  $\pm 1.0$ .

Поэтому можно полагать, что в изготовленных пленках  $(Bi_{0,25}Sb_{0,75})_2Te_3$  высокие значения сопротивления и коэффициента тензочувствительности их коррелированы с величиной  $VMH$ , диэлектрического зазора и размером кристаллитов. Действие ЦЗПД приводит к росту изменения величины сопротивления и коэффициента тензочувствительности при сжатии, и к уменьшению значения  $K$  при растяжении, а также изменению формы статической деформационной характеристики.

### 2.3. Влияние циклических деформаций на вольтамперную

#### характеристику пленок $(Bi_{0,25}Sb_{0,75})_2Te_3$

С точки зрения технического применения пленок в качестве тензочувствительного элемента ( $ВАХ$ ) позволяет судить об энергетических возможностях тензорезисторов, если под этим понимать ту максимальную мощность, которую можно выделить на тензорезисторе при заданных условиях их эксплуатации. Это связано с тем, что поликристаллические пленки полупроводников очень чувствительны к изменениям температуры, а при пропускании больших токов через пленочные образцы может происходить их джоуле нагрев, что соответствующим образом отразится на их рабочих параметрах, в частности, приведет к нелинейной  $ВАХ$  и тем самым – к увеличению погрешности в показаниях приборов.

Влияние статической деформации на  $ВАХ$  пленки изучалось нами [13] в интервале значений относительных деформаций до  $0,9 \cdot 10^{-3}$  отн. ед., соответствующие кривые показаны на рис. 5а. Из них видно, что  $ВАХ$  образцов линейна в области малых напряжений. С увеличением напряжения линейность зависимости тока от напряжения нарушается, что происходит, например, в недеформированном состоянии при  $U=5 В$  (кривая 4). Это напряжение, при котором возникает нелинейность  $ВАХ$ , существенно зависит от знака и уровня деформации.

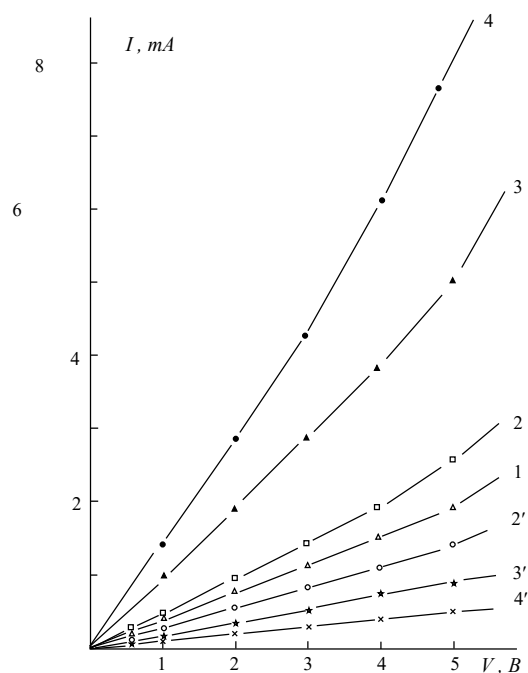


Рис. 5а. Вольт-амперная характеристика пленки  $(Bi_{0,25}Sb_{0,75})_2Te_3$  на подложке полиимида ПМ-1, под действием статической деформации:  $\varepsilon=0$  (кривая 1),  $\pm 0,3 \cdot 10^{-3}$  (2,2'),  $\pm 0,6$  (3,3'),  $\pm 0,9$  (4,4'),. Кривые 2-4 сняты при сжатии, а 2'-4'- при растяжении.

Исследования ВАХ пленок  $(Bi_{0,25}Sb_{0,75})_2Te_3$ , подвергавшихся ЦЗПД, показаны на рис. 5б. Из рисунка видно, что ВАХ пленки существенно изменяются после воздействия циклических деформаций ( $= 5 \cdot 10^5$ ). На всех кривых, снятых при различных значениях относительной деформации  $\varepsilon$ , четко отражены увеличения сопротивления пленки. Действие  $N = 5 \cdot 10^5$  циклов знакопеременных деформаций приводит к увеличению падения напряжения на пленки при постоянном источнике почти до 10 В, т.е. в два раза.

Поскольку при действии циклических деформаций в результате истирания контактирующих поверхностей кристаллических зерен увеличиваются расстояния между ними, это и приводит к расширению линейного участка ВАХ пленки. Известно, что тензометрические измерения необходимо производить в линейной области ВАХ. При этом следует учитывать возможность возникновения погрешности, связанной тем, что в приборах может идти ток довольно большой величины,

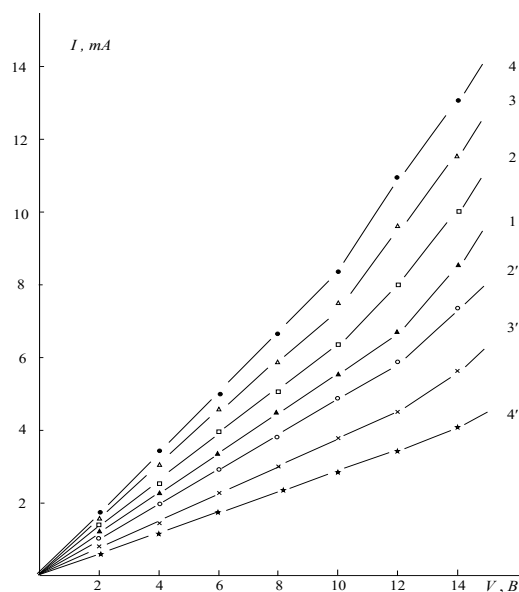


Рис. 5б. Вольт-амперная характеристика пленки  $(Bi_{0,25}Sb_{0,75})_2Te_3$  после воздействия  $N = 5 \cdot 10^5$  циклов знакопеременных нагрузок. Кривые 1-4 и 2'-4' соответствуют кривым 1-4 и 2'-4' рис. 7.21.

который разогревает тензорезистор и обуславливает появление также участка нелинейной ВАХ. При этом измеряется не номинальное сопротивление, а статическое, соответствующее определенной точке ВАХ. Для снижения тока через тензорезистор может включаться добавочное сопротивление, предварительно измеренное с достаточной точностью.

Измерительный ток через тензорезистор при этом должен быть на порядок ниже тока, вызывающего изменение механизма электропроводности в пленке или разогрев тела тензодатчика. Величину этого тока можно грубо определить по ВАХ. Обычно это то значение тока, где ВАХ начинает отклоняться от линейной зависимости.

## Заключение

Характеры изменения величины сопротивления, КТЧ плёнок с ростом числа циклов деформации можно объяснить ростом величины диэлектрического зазора между кристаллитами плёнки. Предлагаемая модель, описывающая электропроводность через микро контактирующие поверхности кристаллитов, на основе теории протекания объясняет высокие значения величины КТЧ плёнок и нелинейность их статической деформационной характеристики. Исследованные пористые пленки из соединения  $(Bi_{0,25}Sb_{0,75})_2Te_3$ , которые получались методом термического испарения в вакууме при указанных выше оптимальных технологических параметрах, могут быть применены в качестве ТНУП различных конструкций.

### Список литературы:

1. Абдуллаев Э.А., Юлдашев Н.Х. Эффект пьезосопротивления в халькогенидах свинца и висмута. Ч.1- Ташкент, «Фан», 1989, 182 с.
2. Kazi I.H., Wild P.M., Moore T.M. Characterization of sputtered nichrome (80/20 wt.%) films for strain gauge applications. *Thin Sol. Films*, vol. 515, P. 2602 (2006).
3. Pazukha, I. M., Makukha, Z. M., Shabelnyk, Y. M., & Protsenko, I. Y. (2012). Tensore-sistive properties of thin film systems based on Ag and Co. *Journal of Nano-and Electronic Physics*, 4(3), 3020-1.
4. Gerasimenko A.Yu., Ichkitidze L.P., Podgaetsky V.M., Selishchev S.V. Layers with the Tensore-sistive Properties and their Possible Applications in Medicine. // *Materials Physics and Mechanics* 37 (2018). P. 153-158.
5. Ltidier Elbrecht and Josef Binder. The Mechanical Properties of Thin Polycrystalline Silicon Films as Function of Deposition and Doping Conditions. *Sensors and Materials*, Vol. 11, No. 3 (1999) 163-179.
6. Маматкаримов О.О., Зайнабидинов С.З., Абдураимов А., Хамидов Р.Х., Туйчиев

У.А. Динамические тензохарактеристики диодов с барьером Шоттки при импульсном всестороннем гидростатическом давлении // ФТП, 34 (1), 67 (2000).

7. Абдуллаев Э.А., Юлдашев Н.Х. Эффект пьезосопротивления в халькогенидах свинца и висмута. Ч.2 - Фергана, «Техника», 2008. 116 с.

8. Сулаймонов Х.М. Влияние циклической деформации на электропроводность пленок  $p\text{-(Bi}_{0.3}\text{Sb}_{0.7})_2\text{Te}_3$  на переменном токе. // Журнал технической физики. 2017. –Т. 87, № 3, с. 471-472.

9. Shavkat Sh. Abdullaev, Nosirjon Kh. Yuldashev, Khusanboy M. Sulaymonov. Tensore-sistive Properties of Thin Polycrystalline  $(\text{Bi}_{0.3}\text{Sb}_{0.7})_2\text{Te}_3$  Films at Static and Cyclic Deforma-tions. International Journal of Modern Physics and Application. Vol. 3, No. 4, 2016, pp. 52-56.

10. Сулаймонов Х.М., Умаров М.Г., Юлдашев Н.Х. Тензочувствительность поликри-сталлических пористых пленок //Актуальные проблемы современной науки-Россия. 2015, №4.

11. Sulaymonov, H. M., & Yuldashev, N. K. (2016). Effect of internal stresses on the static strain characteristics of  $p\text{-(Bi}_{0.3}\text{Sb}_{0.7})_2\text{Te}_3$  composite films. Journal of Surface Investigation. X-ray, Synchrotron and Neutron Techniques, 10(4), 878-882.

12. Xu, Z., Huang, C., Tan, C., Wan, M., Zhao, Y., Ye, J., & Zeng, W. (2021). Influence of micro-structure on cyclic deformation response and micromechanics of Ti-55531 alloy. Materials Science and Engineering: A, 803, 140505.

13. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2020.140505>

14. Chao He, Yujuan Wu, Liming Peng, Ning Su, Xue Li, Kun Yang, Yongjie Liu, Shucheng Yuan and Renhui Tian. (2018). Cyclic Deformation and Correspondent Crack Initiation at Low-Stress Amplitudes in Mg-Gd-Y-Zr Alloy. Materials, 11(12):2429. doi:10.3390/ma11122429 [www.mdpi.com/journal/materials](http://www.mdpi.com/journal/materials)

15. Pengfei Wang, Toshiyuki Takagi, Takanori Takeno, Hiroyuki Miki. Early fatigue damage detecting sensors—A review and prospects // Sensors and Actuators A: Physical. Vol-ume 198, 15 August 2013, Pages 46-60. <https://doi.org/10.1016/j.sna.2013.03.025>

16. Корякин А.А., Лещенко Е.Д., Дубровский В.Г. Влияние упругих напряжений на формирование осевых гетеропереходов в трехкомпонентных нитевидных нанокри-сталлах  $A^{III}B^V$  // Физика твердого тела, 2019, том 61, вып. С.2437-2441.

17. Бурый И.П., Воробьев С.И., Ордодворец Л.В. Тензорезистивные свойства пленоч-ных материалов на основе Ni И Мо или Cr // ФИП, 7 (1,2), 115 (2009).

18. Yuldashev, N. K., Mamadiyeva, D. T., Nurmatov, O. R., Rakhmonov, T. I., & Sulaymonov, X. M. (2019). The effect of mechanical deformation on the photovoltaic properties of semicon-ductor polycrystalline film structures CdTe: Sn. Scientific-technical journal, 23(3), 9-14.

19. Sulaymonov, Kh.M., Yuldashev, N. Kh. The Third European Conference on Physics and Mathematics, 12th September, Vienna, Austria. p.19 (2015).

20. Tokhirbek Imomaliyevich Rakhmonov. Photosensitivity Spectra of Thin Films from a  $\text{CdSe}_x\text{S}_{1-x}$  Solid Solution // Journal of Applied Mathematics and Physics. 2022. Vol.10 No.12, P.3676-3683. (JIF, IF:0.71). <https://doi.org/10.4236/jamp.2022.1012245>

21. Rakhmonov T.I., Mamadiyeva D.T., Yuldashev N.Kh. Photoelectric phenomena in thin Polycrystalline CdTe, CdSe, CdS films under mechanical deformation // European Science Review. – 2021. – No 11-12. – P. 40-49. (05.00.00, №3). (GIF, IF:1.47).

22. Nurmatov O., Rahmonov T., Sulaymonov Kh., Yuldashev N. Phototenzoelectric prop-erties of polycrystalline films of chalcogenides of cadmium and zinc, produced by portional evaporation in vacuum // Euroasian Journal of Semiconductors Science and Engineering. 2020. Vol. 2. Iss. 5. P.40-45. (01.00.00, №16).

УДК 662.997: 628.336

**Расходжаев Бахрамжан Сабирович<sup>1</sup>,**  
*техника илимдеринин кандидаты, профессор*  
**Рихсибоев Ойбек Алишер угли<sup>1</sup>,**  
*изденүүчү*  
**Ахмаджонов Усмонжон Зокиржон угли<sup>1</sup>,**  
*изденүүчү*  
**Эрмекова Зулайка Карыпбековна<sup>2</sup>,**  
*техника илимдеринин кандидаты, доцент*  
**Токонова Тамара Сулаймановна<sup>2</sup>,**  
*изденүүчү*  
**Абыразакова Сырга Бекиевна<sup>3</sup>,**  
*PHD докторант*  
**Абсамат кызы Гулиза<sup>3</sup>,**  
*PHD докторант*

**АВТОНОМИЯЛЫК ЭНЕРГЕТИК КОМПЛЕКСИ МЕНЕН КҮН КҮНӨСКАНАСЫНЫН  
ЭНЕРГЕТИКАЛЫК НАТЫЙЖАЛУУЛУГУН ЖОГОРУЛАТУУ**

**Расходжаев Бахрамжан Сабирович<sup>1</sup>,**  
*кандидат технических наук, профессор*  
**Рихсибоев Ойбек Алишеревич<sup>1</sup>,**  
*соискатель*  
**Ахмаджонов Усмонжон Закиржонович<sup>1</sup>,**  
*соискатель*  
**Эрмекова Зулайка Карыпбековна<sup>2</sup>,**  
*кандидат технических наук, доцент*  
**Токонова Тамара Сулаймановна<sup>2</sup>,**  
*соискатель*  
**Абыразакова Сырга Бекиевна<sup>3</sup>,**  
*докторант PhD*  
**Абсамат кызы Гулиза<sup>3</sup>,**  
*докторант PhD*

**ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ  
СОЛНЕЧНЫХ ТЕПЛИЦ С АВТОНОМНЫМИ ЭНЕРГОКОМПЛЕКСНЫМИ**

**Rasakhodzhaev Bakhramzhan Sabirovich<sup>1</sup>,**  
*Candidate of Technical Sciences, Professor*  
**Rikhsiboev Oybek Alisherovich<sup>1</sup>,**  
*Applicant*  
**Akhmadzhonov Usmonzhon Zokirzhonovich<sup>1</sup>,**  
*Applicant*  
**Ermekova Zulayka Karypbekovna<sup>2</sup>,**  
*Candidate of Technical Sciences, Associate Professor*  
**Tokonova Tamara Sulaymanovna<sup>2</sup>,**  
*Applicant*  
**Abyrazakova Syrga Bekievna<sup>3</sup>**  
*PhD Doctoral Student*  
**Absamat kyzy Guliza<sup>3</sup>,**  
*PhD Doctoral Student*

## INCREASING THE ENERGY EFFICIENCY OF POWER SUPPLY SYSTEMS FOR SOLAR GREENHOUSES WITH AUTONOMOUS ENERGY COMPLEX

<sup>1</sup>Национальный научно-исследовательский институт возобновляемых источников энергии при Министерстве энергетики РУз, Ташкент, Республика Узбекистан

<sup>2</sup>Кыргызско-Узбекский международный университет им. Б. Сыдыкова, Ош, Кыргызская Республика

<sup>3</sup>Ошский технологический университет им. академика М.М.Адышева, Ош, Кыргызская Республика

<sup>1</sup>Ўзбекистон Республикасынын Энергетика министрлигинин карамагындагы Жаңылануучу энергия булактары боюнча улуттук илимий-изилдөө институту, Ташкент, Ўзбекистон Республикасы

<sup>2</sup>Б. Сыдыков ат. Кыргыз-Ўзбек Эл аралык университети, Ош, Кыргыз Республикасы

<sup>3</sup>М.М. Адышев ат. Ош технологиялык университети, Ош, Кыргыз Республикасы

<sup>1</sup>National Research Institute of Renewable Energy Sources under the Ministry of Energy of the RUz, Tashkent, Republic of Uzbekistan

<sup>2</sup>Kyrgyz-Uzbek International University named after B. Sadykov, Osh, Kyrgyz Republic

<sup>3</sup>Osh Technological University named after academician M.M. Adyshev, Osh, Kyrgyz Republic

**Аннотация.** В работе представлены результаты экспериментальных научно-исследовательских работ. На полигоне Национального научно-исследовательского института возобновляемых источников энергии при Министерстве энергетики Республики Узбекистан на территории полигона построены две солнечные теплицы общей площадью 200 кв. м. Каждая солнечная теплица имеет площадь 100 кв. м. Для теплоснабжения теплиц построены две биогазовые установки емкостью 3 тонны каждая. Для электроснабжения установлена фотоэлектрическая станция с аккумуляторами энергии номинальной мощностью 5 кВт. Результаты исследований показывают, что по выходным показателям биогазовой установки и автономной фотоэлектрической станций с номинальной мощностью 5 кВт, соответствует для обеспечения бесперебойного и эффективного автономного электроснабжения теплицы, в том числе и потребителей горных, и сельских регионов, отдаленных от общей распределительной сети.

**Ключевые слова:** солнечная энергия, солнечная теплица, фотоэлектрическая станция, биогазовая установка, тепловая энергия, биогаз, эффективность.

**Аннотация.** Бул макалада эксперименталдык изилдөөлөрдүн натыйжалары берилген. Ўзбекистон Республикасынын Энергетика Министрлигине караштуу Кайра жаралуучу энергия улуттук илимий-изилдөө институтунда жалпы аянты 200 чарчы метр эки күнөскана курулган. Ар бир күнөскананын аянты 100 чарчы метрди түзөт. Күнөсканаларды жылуулук менен камсыз кылуу үчүн ар биринин кубаттуулугу 3 тонна болгон эки биогаз станциясы курулган. Электр энергиясы менен камсыз кылуу үчүн номиналдык кубаттуулугу 5 кВт болгон энергия сактоочу фотоэлектр станциясы орнотулган. Изилдөөлөрдүн жыйынтыктары көрсөткөндөй, номиналдык кубаттуулугу 5 кВт болгон биогаз станциясынын жана автономдуу фотоэлектр станциясынын өндүрүштүк көрсөткүчтөрү күнөскананы үзгүлтүксүз жана эффективдүү автономдуу электр менен камсыздоо үчүн жетиштүү, анын ичинде жалпы бөлүштүрүү тармагынан алыс жайгашкан тоолуу жана айыл аймактарынын керектөөчүлөрү үчүн.

**Ачкыч сөздөр:** күн энергиясы, күн парник, фотоэлектр станциясы, биогаз станциясы, жылуулук энергиясы, биогаз, эффективдүүлүк.

**Annotation.** This paper presents the results of experimental research. Two solar greenhouses with a total area of 200 square meters were constructed at the National Research Institute of Renewable Energy under the Ministry of Energy of the Republic of Uzbekistan. Each solar greenhouse has an

area of 100 square meters. Two biogas plants, each with a capacity of 3 tons, were built to supply heat to the greenhouses. A photovoltaic station with energy storage with a nominal capacity of 5 kW was installed to supply electricity. The research results show that the output indicators of the biogas plant and the autonomous photovoltaic station with a nominal capacity of 5 kW are sufficient to ensure uninterrupted and efficient autonomous power supply to the greenhouse, including for consumers in mountainous and rural regions remote from the general distribution grid.

**Key words:** solar energy, solar greenhouse, photovoltaic station, biogas plant, thermal energy, biogas, efficiency.

В настоящее время солнечные теплицы широко используются во многих странах для выращивания в холодное время года овощей, плодов, тропических растений, зелени, цветов и т.д., при этом во многих случаях в теплицах применяются аккумуляторы тепловой энергии для их обогрева в ночное время [1,2].

Одним из основных вопросов развития масштабов использования солнечных теплиц является разработка относительно дешевых и долговечных конструкций теплиц, позволяющих, в тоже время в первую очередь уменьшить расходы тепла на её отопление.

Основными проблемами создания и использования теплиц и в настоящее время являются: обеспечение необходимых температурно-влажностных режимов в теплицах в холодное время года; обеспечение минимальных затрат энергии на поддержание требуемых температурных режимов.

Предлагаются различные пути решения этих проблем. Первое, это уменьшение тепловых потерь самой теплицы – с двойным прозрачным слоем, заглубленные (траншейные), с теплоизоляцией стенок, с теплоотражающими экранами [3,4,5].

Из анализа этих работ следует, что исследования в области тепловых режимов необходимо рассмотреть с учетом нестационарного температурно-влажностного режима солнечных теплиц.

Одна из задач поддержания температур в теплицах — это тип подачи тепла в теплицу (лучистая, конвективная, комбинированная) [6,7,8].

Лучистая подача энергии наиболее экономична, однако в основном она поглощается растениями и прозрачными ограждениями, при этом связь с их температурами и температурой воздуха в теплице не рассмотрена, также не проведены оценки лучистых потерь через ограждения (пленочные, стеклянные). Большее распространение получили конвективные системы отопления радиаторного типа (в радиаторах прогоняется горячая вода), далее которые нагревают воздух в теплице и сами растения, а также прозрачные ограждения. В настоящее время оценка эффективности таких систем отопления требует разработки методик, учитывающих особенности влияния этих факторов на нестационарный тепловой режим теплицы.

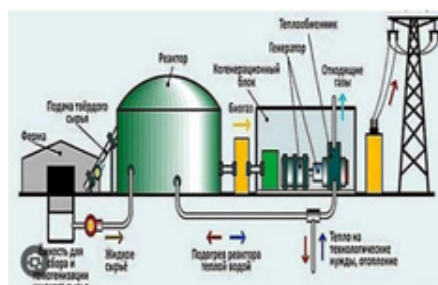
На основе исследования развития технологии разработки профессором Исманжановым А.И., составлена классификация солнечных теплиц отличающихся по различным признакам [9].

Сотрудниками Национального научно-исследовательского института возобновляемых источников энергии при Министерстве энергетики Республики Узбекистан на территории полигона построены две солнечные теплицы общей площадью 200 кв. м. Каждая солнечная теплица имеет площадь 100 кв. м. Для теплоснабжения теплиц построены две биогазовые установки емкостью 3 тонны каждая. Для электроснабжения установлена фотоэлектрическая станция с аккумуляторами энергии номинальной мощностью 5 кВт.

Выбор наиболее распространенных установок возобновляемых источников энергии (ВИЭ) для создания автономных энергокомплекса и их схемы показаны на рисунке 1.:



автономная фотоэлектростанция для электроснабжения;



биогазовая установка для газоснабжения отопительного котла

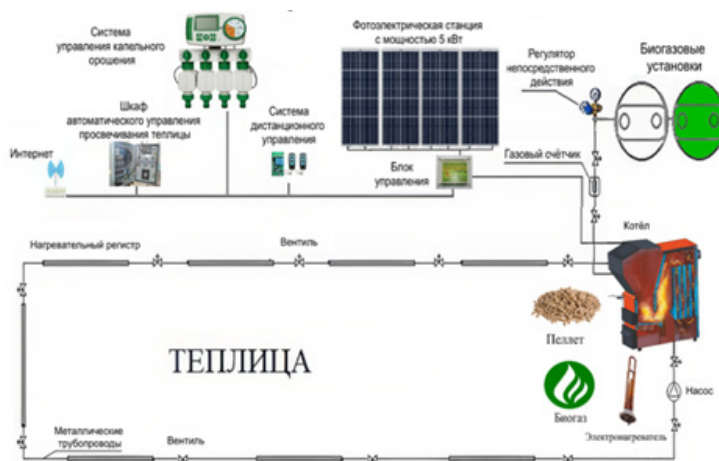


использования органических отходов, пеллет, для отопления.

**Рис.1. Автономные энергокомплексы на базе ВИЭ и их схемы.**

В целях обеспечения бесперебойного тепло- и энергоснабжения солнечных теплиц, построенных на территории полигона Национального научно-исследовательского института возобновляемых источников энергии, создан автономный энергетиче-

ский комплекс на базе ВИЭ, состоящий из фотоэлектрической станции (ФЭС) с номинальной мощностью 5 кВт и экспериментальной биогазовая установка (БГУ), схема автономной энергетической системы представлена на рисунке 2.



**Рис.2. Автономная энергоэффективная система для тепло- и энергоснабжения солнечных теплиц с хранением тепловой энергии на основе технологий возобновляемых источников энергии**

Как видно из рисунка 2, автономная энергоэффективная система для тепло- и энергоснабжения солнечных теплиц с хранением тепловой энергии состоит из следую-

щих основных частей, котел с возможностью принимать три вида энергоресурсов, пеллет, биогаз и электроэнергию от фотоэлектрической станций. Имеется система капельного

орошения с автоматической системой управления, система передачи интернета, а также система передачи тепловой энергии металлические регистры и трубопроводы присоединенные к системе отопления.

Согласно международным и национальным стандартам приготовлен субстрат. По существующим международным и национальным стандартам O'z DSt 2798:2017 «Нетрадиционные технологии. Энергетика Биоотходов. Общие технические требования к биогазовым установкам» [10] в представленной БГУ для полноценного эксперимента дополнены комплектующие – такие как система обогрева и мешалка для перемешивания субстрата.

Установленные биогазовые установки предназначены получения биогаза из ор-

ганических веществ. По конструкции нами использованные биогазовые установки непосредственно располагаются в грунте. Для установки БГУ в грунте делается яма глубиной диаметром 3 м.

Соблюдая нормативные требования O'z DSt 2798:2017 на БГУ можно загружать 2/3 части, в среднем до 90 % влажности субстрата, в среднем загружается в БГУ с размером диаметра 2,24 м от рабочего объем до 1,2 тонны органического сырья КРС. В целом в две БГУ можем загружать до 2,5 тонны субстрата и можно получить с двух БГУ в среднем 100 куб. м/месяц биогаза.

Результаты экспериментов БГУ, влияние температуры окружающей среды на расход биогаза получаемой от БГУ предназначенной для теплоснабжения солнечных теплиц приведены на рисунке 3.

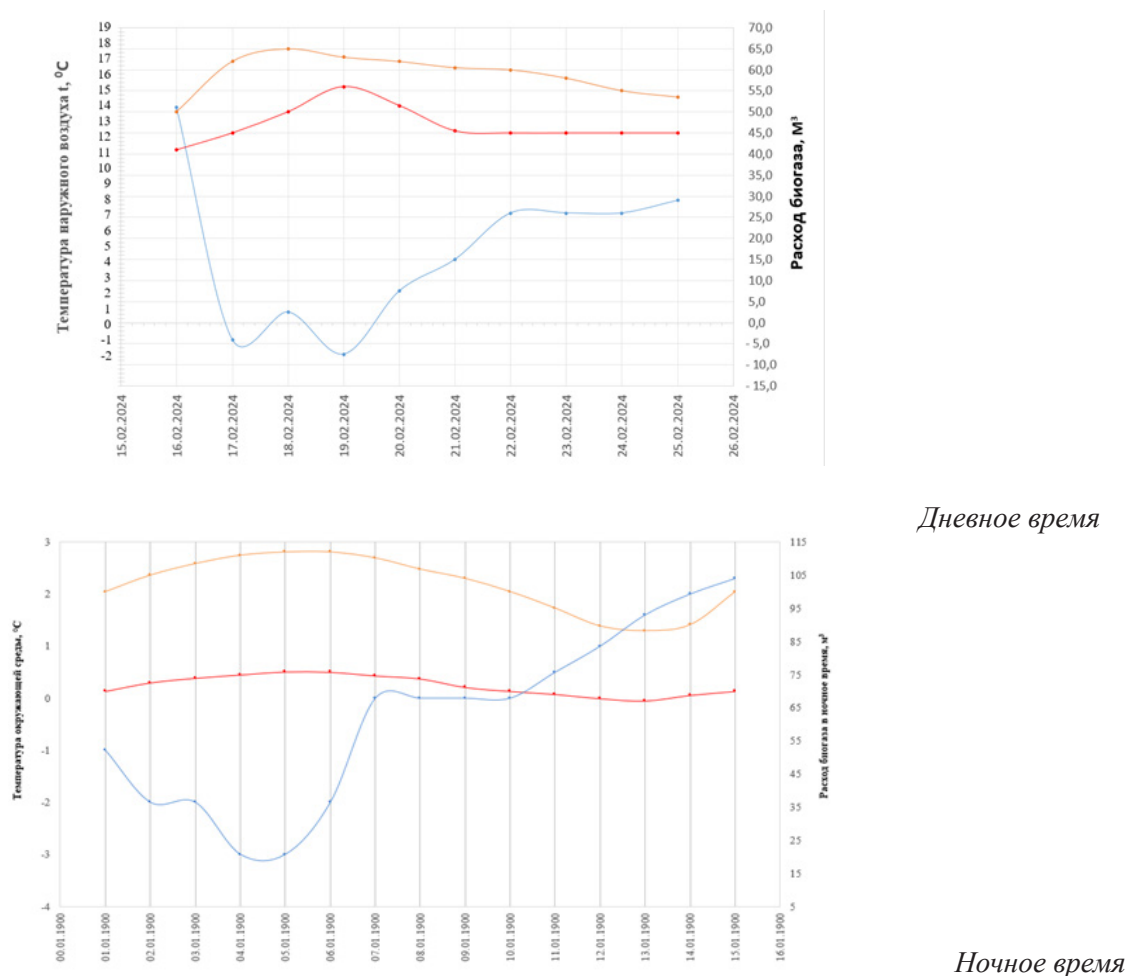


Рис. 3. Влияние температуры окружающей среды на расход газа получаемой от БГУ предназначенной для теплоснабжения солнечных теплиц

Как видно из рисунка 3, в зависимости от температуры окружающей среды расход газа, получаемый от БГУ можно регулировать, тем самым способствовать для экономии его, также для балансирующая температуры во внутри солнечные теплицы.

Таким образом, нами сооруженная БГУ по конструкции имеющая шарообразную форму, полностью соответствует нормативным документам БГУ и вполне пригодна для получения биогаза от органического сырья. Согласно нормативным документам нами

сооруженных в двух БГУ, в целом можно загрузить до 2 тонны субстрата, органического сырья КРС и можно получить с двух БГУ в среднем 100 куб. м/сутки биогаза.

Для электроснабжения разработанных теплиц нами было сооружена фотоэлектрическая станция с номинальной мощностью 5 кВт. Фотоэлектрическая станция установлена по адресу Ташкентская область, Юқори Чирчиқ тумани, Барданкўл қишлоғи, 2А.

Общий вид ФЭС с хранением энергии с двух сторон сооруженная на южной стороне солнечной теплицы, см. рисунок 4.



Рис.4. Общий вид ФЭС с хранением энергии и солнечной теплицы

Результаты экспериментов автономной ФЭС с системой хранения энергии представлены на рисунках 5 и 6. Из рисунков 5 и 6 видно, что в зависимости от времени года

меняется выработка электроэнергии автономной ФЭС. При этом максимальная выработка электроэнергии автономной ФЭС приходится на июнь, июль и август месяцы.

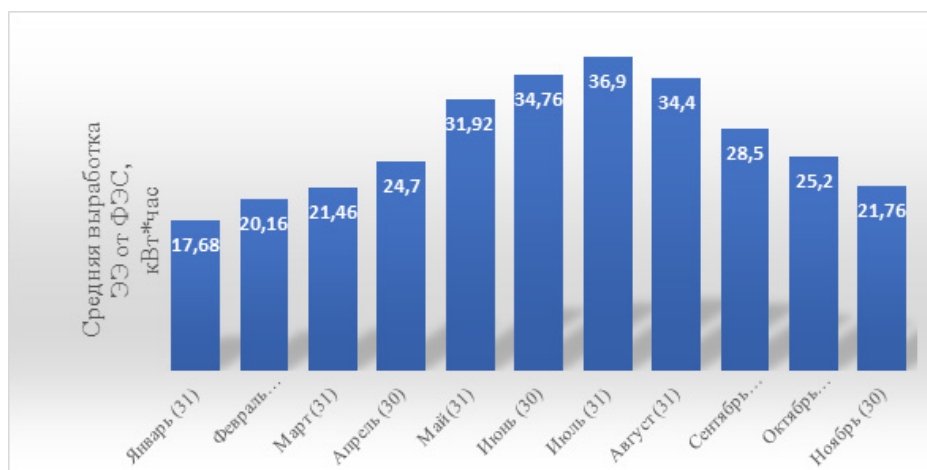
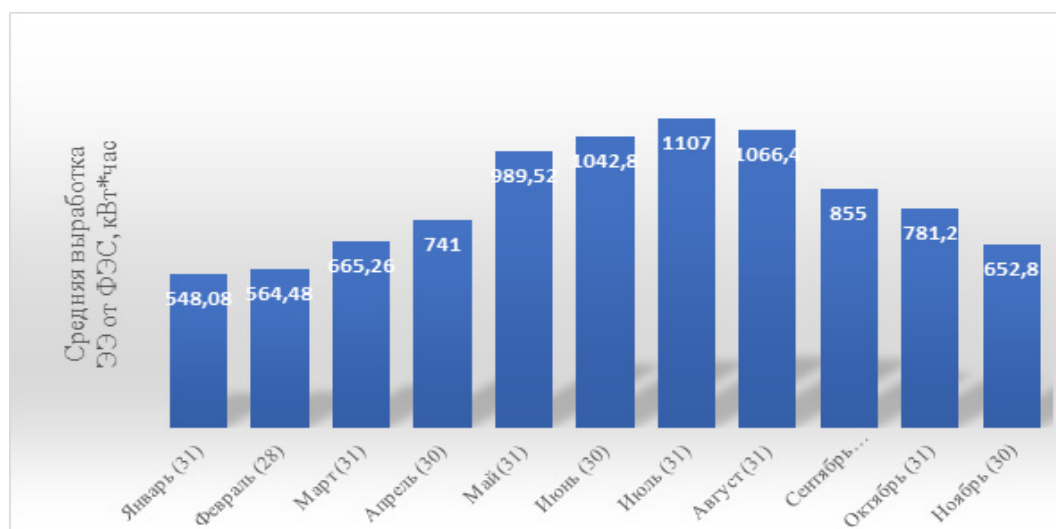


Рис. 5. Средняя выработка электроэнергии от ФЭС с номинальной мощностью 5 кВт, средняя за сутки по месяцам, кВт\*час.



**Рис. 6. Средняя выработка электроэнергии от ФЭС с номинальной мощности 5 кВт, средняя за месяц, кВт\*час.**

Таким образом, по выходным показателям нами собранная автономная ФЭС с номинальной мощностью 5 кВт, соответствует для обеспечения бесперебойного и эффек-

тивного автономного электроснабжения теплицы, в том числе и потребителей горных, и сельских регионов, отдаленных от общей распределительной сети.

#### Список литературы:

IRENA (2024), Renewable energy statistics 2024, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi. ([Link](#)). Аллаев К.Р. Энергетика мира и Узбекистана. -Т. Молия, 2007, 388 с.

1. Хайриддинов Б.Э. Блочная теплица. Ташкент.: Фан, 1982. - 46 с.
2. Садыков Г.А., Вардиашвили А.Б. Гелиотеплица и их тепловой расчет. Ташкент.: Фан, 1977.-79 с.
3. Вардиашвили А.Б. Теплообмен и гидродинамика в комбинированных теплицах с субстратом и аккумулярованием тепла. Ташкент.: Фан, 1990, -196с.
4. Раббимов Р.Т., Умаров Г.Я., Захидов Р.А. Аккумулярование солнечной энергии в песчано-гравийном грунте. // Гелиотехника. №5. 1971. –С.57-64.
5. Махкамов Х.Т., Хайриддинов Б.Э., Ким В.Д. Лимонарий углубленного типа с аккумулятором тепла // Гелиотехника, - Ташкент, 2001. -№1. – С. 33-36.
6. Хайриддинов Б.Э., Махкамов Х.Т., Ким В.Д. Оптимизация конструкции гелиолимонярия // Гелиотехника, - Ташкент, 2000. - №3. –С. 30-35.
7. Исманжанов А.И., Мурзакулов Н.А. Энергоэкономные гелиотеплицы. Издательство «Ризван», Ош. 2018.136с.
8. O'z DSt 2798:2017 «Нетрадиционные технологии. Энергетика Биоотходов. Общие технические требования к биогазовым установкам».
9. Х. К. Зайнутдинова Использование солнечной энергии в Узбекистане: вопросы рынков и маркетинга // Издательство “ФАН”, Ташкент 2015г. 333 стр.
10. Теплица промышленная Фермер-11,5 // URL: <http://orel.zagorod.shop> > shop/teplitsy/dlya fermerov (дата обращения 11.05.2021).
11. Расаходжаев Б.С., Ахмаджонов У.З. и другие. Теплица. FAP 01450 патент на полезную модель от 13.12.2019г.

УДК 669.054.8:621.357

**Сатыбалдиев Абдымиталип Баатырбекович<sup>1</sup>,**

*к.т.н., доцент*

**Абдыракман уулу Кутманалы<sup>2</sup>,**

*к.т.н., доцент*

**УЛЬТРАЗВУКОВАЯ МНОГОЭЛЕКТРОДНАЯ ЭЛЕКТРО-ФИЗИЧЕСКАЯ ИОНИЗАЦИЯ  
ДЛЯ ВЫСОКОЧИСТОГО ИЗВЛЕЧЕНИЯ БЛАГОРОДНЫХ,  
БАЗОВЫХ И РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛОВ ИЗ ТЕХНОГЕННЫХ  
ХВОСТОВ КЫРГЫЗСТАНА**

**Сатыбалдиев Абдымиталип Баатырбекович<sup>1</sup>,**

*т.и.к., доцент,*

**Абдыракман уулу Кутманалы<sup>2</sup>,**

*т.и.к., доцент*

**КЫРГЫЗСТАНДЫН ТЕХНОГЕНДИК КАЛДЫКТАРЫНАН АСЫЛ,  
НЕГИЗГИ ЖАНА СЕЙРЕК КЕЗДЕШУУЧУ ЖЕР МЕТАЛЛДАРЫН ЖОГОРКУ  
ТАЗАЛЫКТА БӨЛҮП АЛУУ ҮЧҮН УЛЬТРАҮНДҮК КӨП ЭЛЕКТРОДДУУ  
ЭЛЕКТР-ФИЗИКАЛЫК ИОНДОШТУРУУ**

**Abdimalip Baatyrbekovich Satybaldyev<sup>1</sup>,**

*PhD (Candidate of Technical Sciences), Associate Professor*

**Abdyrakman uulu Kutmanaly<sup>2</sup>,**

*PhD (Candidate of Technical Sciences), Associate Professor*

**ULTRASONIC MULTI-ELECTRODE ELECTROPHYSICAL IONIZATION FOR HIGH-PURITY  
EXTRACTION OF PRECIOUS, BASE, AND RARE-EARTH METALS  
FROM KYRGYZSTAN'S TECHNOGENIC TAILINGS**

<sup>1</sup>*Ошский технологический университет им. М. М. Адышева, Ош, Кыргызская Республика*

<sup>2</sup>*Институт природных ресурсов им. А.С. Джаманбаева ЮО НАН КР ПКР,  
Ош, Кыргызская Республика*

<sup>1</sup>*М.М. Адышев ат. Ош технологиялык университети, Ош, Кыргыз Республикасы*

<sup>2</sup>*КРП КР УИА ТБ А.С. Джаманбаев ат. Жаратылыш байлыктары институту, Ош,  
Кыргыз Республикасы*

<sup>1</sup>*Osh Technological University named after M.M. Adyshev, Osh, Kyrgyz Republic*

<sup>2</sup>*Institute of Natural resources named after A.S. Dzhamanbayev SB NAS KR PKR,  
Osh, Kyrgyz Republik*

**Аннотация.** Предложена оригинальная, многокомпонентная технология экстракции благородных, базовых и редкоземельных элементов из техногенных отходов Кыргызстана, в основе которой — электро-физическая ионизация (ЭФИ), дополненная кавитационно-активируемым ультразвуком и реализованная в пространственно распределённой многоэлектродной схеме. Исследование преследовало двуединую цель: (i) сформулировать физико-химическое обоснование процессов, обеспечивающих предельную селективность и высокую энергетическую рентабельность, и одновременно (ii) смоделировать режимы, минимизирующие генерацию вторичных загрязнителей. В качестве исходного сырья анализировались хвосты обогатительных фабрик, металлургические шлаки и шламы, аккумулярованные в ключевых горнопромышленных провинциях страны.

Экспериментальная программа, построенная на методологии поверхности отклика, позволила «тонко подстроить» критические параметры: потенциал 6 – 12 В, межэлектродный зазор 1,0 – 1,5 см, молярность электролита 0,5 – 1 М, акустическая мощность < 300 Вт, продолжительность обработки 30 – 65 мин. Итог — рекордные коэффициенты извлечения: Cu — 96,8 %, Zn — 93,5 %, Ag — 92,1 %, Au — 88,5 %; для редкоземельных представителей La и Nd соответствующие значения достигли 79,7 % и 81,1 %. Чистота полученных осадков, верифицированная комплексом ICP-OES / SEM-EDX, превысила 99,8 ‰ (Cu) и 99,5 ‰ (Au, Ag).

Синергия ультразвуковой кавитации и многоэлектродного поля снижает энергетический барьер электрохимических реакций, дезагрегирует твёрдую фазу, ускоряет массоперенос, а равномерное распределение тока препятствует пассивации анодов. Сопоставление с классическими гидро- и пирометаллургическими маршрутами выявило существенное (кратно-десятковое) сокращение энергопотребления при полном отказе от опасных реагентов. Разработанный подход не только открывает дорогу комплексной утилизации накопленных отходов, сокращая экологические риски, но и формирует альтернативную минерально-сырьевую базу критически значимых металлов, способную придать дополнительный импульс экономике Кыргызской Республики.

**Ключевые слова:** электро-физическая ионизация, ультразвуковая активация, промышленные отходы, извлечение металлов, редкоземельные элементы, оптимизация процесса, экологическая безопасность.

**Аннотация.** Кыргызстандын техногендик калдыктарынан асыл, негизги жана сейрек кездешүүчү жер элементтерин бөлүп алуу үчүн оригиналдуу, көп компоненттүү технология сунушталган. Анын негизин кавитация менен активдештирилген ультраун менен толукталган жана мейкиндикте бөлүштүрүлгөн көп электроддуу схемада ишке ашырылган электр-физикалык иондоштуруу (ЭФИ) түзөт. Изилдөө эки бирдиктүү максатты көздөгөн: (i) эң жогорку деңгээлдеги тандалмалуулукту (селективдүүлүктү) жана жогорку энергетикалык рентабелдүүлүктү камсыз кылган процесстердин физика-химиялык негиздемесин иштеп чыгуу, жана ошону менен бирге (ii) экинчилик булгоочу заттардын пайда болушун минималдаштыруучу режимдерди моделдөө. Баштапкы чийки зат катары өлкөнүн негизги тоо-кен өнөр жай аймактарында топтолгон байытуучу фабрикалардын калдыктары, металлургиялык шлактар жана шламдар талданган.

Жооп кайтаруу беттик методологиясына негизделген эксперименталдык программа критикалык параметрлерди: потенциалды 6 – 12 В, электроддор аралык ажырымды 1,0 – 1,5 см, электролиттин молярдуулугун 0,5 – 1 М, акустикалык кубаттуулукту < 300 Вт, иштетүү узактыгын 30 – 65 мүн. чегинде так кылдат жөндөөгө мүмкүндүк берди. Натыйжада, бөлүп алуунун рекордук коэффициенттерине жетишилди: Cu — 96,8 %, Zn — 93,5 %, Ag — 92,1 %, Au — 88,5 %; сейрек кездешүүчү жер элементтеринин өкүлдөрү La жана Nd үчүн тиешелүү көрсөткүчтөр 79,7 % жана 81,1 % түздү. ICP-OES / SEM-EDX комплекси менен тастыкталган алынган чөкмөлөрдүн тазалыгы Cu үчүн 99,8 ‰ жана Au, Ag үчүн 99,5 ‰ ашты.

Ультраун кавитациясынын жана көп электроддуу талаанын синергиясы электрохимиялык реакциялардын энергетикалык тоскоолдугун төмөндөтөт, катуу фазаны дезагрегациялайт, масса алмашууну тездетет, ал эми токту бир калыпта бөлүштүрүлүшү аноддордун пассивациясына жол бербейт. Классикалык гидро- жана пирометаллургиялык ыкмалар менен салыштыруу, кооптуу реагенттерден толук баш тартуу менен энергия керектөөнүн олуттуу (бир нече эсе жана ондогон эсе) кыскарганын көрсөттү. Иштелип чыккан бул ыкма экологиялык тобокелдиктерди азайтуу менен топтолгон калдыктарды комплекстүү утилизациялоого жол ачып гана койбостон, Кыргыз Республикасынын экономикасына кошумча түрткү берүүгө жөндөмдүү болгон критикалык маанилүү металлдардын альтернативдүү минералдык-чийки зат базасын түзөт.

**Негизги сөздөр:** электр-физикалык иондоштуруу, ультраун менен активдештирүү, өнөр жай калдыктары, металлдарды бөлүп алуу, сейрек кездешүүчү жер элементтери, процессти оптималдаштыруу, экологиялык коопсуздук.

**Abstract.** An original, multicomponent technology is proposed for extracting precious, base, and rare-earth elements from Kyrgyzstan's technogenic wastes. The core of the process is electro-physical ionisation (EPI) enhanced by cavitation-assisted ultrasound and implemented in a spatially distributed multi-electrode configuration. The study pursued a dual objective: (i) to formulate the physico-chemical rationale that ensures maximal selectivity and high energy efficiency, and (ii) to model operating regimes that minimise the generation of secondary pollutants. Feedstocks included concentrator tailings, metallurgical slags, and sludges accumulated in the country's key mining provinces.

A response-surface experimental design enabled fine-tuning of the critical parameters: potential 6–12 V, inter-electrode gap 1.0–1.5 cm, electrolyte molarity 0.5–1 M, acoustic power < 300 W, and treatment duration 30–65 min. The result was record extraction efficiencies: Cu — 96.8 %, Zn — 93.5 %, Ag — 92.1 %, Au — 88.5 %. For the rare-earth representatives, La and Nd, the respective values reached 79.7 % and 81.1 %. The purity of the recovered precipitates, verified by combined ICP-OES / SEM-EDX analysis, exceeded 99.8 ‰ (Cu) and 99.5 ‰ (Au, Ag).

The synergy of ultrasonic cavitation and the multi-electrode field lowers the energetic barrier of electrochemical reactions, disaggregates the solid phase, accelerates mass transfer, and ensures uniform current distribution, thus preventing anode passivation. Comparison with conventional hydro- and pyrometallurgical routes revealed an order-of-magnitude reduction in energy consumption and complete elimination of hazardous reagents. The developed approach not only paves the way for comprehensive recycling of accumulated wastes—mitigating environmental risks—but also establishes an alternative mineral resource base for critical metals, capable of providing an additional impetus to the economy of the Kyrgyz Republic.

**Keywords:** electro-physical ionisation; ultrasonic activation; industrial wastes; metal extraction; rare-earth elements; process optimisation; environmental safety.

## Введение

Глобальная эко-технологическая гонка за последнюю четверть века развернула поистине беспрецедентную экспансию потребления металлов. Индустриализация развивающихся экономик, всемирная цифровизация и амбициозный курс на «зелёный» переход сплелись в тугой узел спроса, в результате чего содержание ценных элементов в извлекаемых рудах неумолимо падает, а природные месторождения стремительно беднеют. Мир, растущий на металле, погружается в парадокс: чем больше он добывает, тем больше производит отходов, и тем острее ощущает дефицит первичного сырья. Горно-рудный и металлургический сектора, формируя миллиардные тонны побочных продуктов ежегодно, уже сейчас входят в тройку крупнейших источников промышленных отходов. Вклад металлургии в планетарный углеродный след внушительен: порядка 40 % всех промышленных выбросов парниковых газов и почти десятая часть мировой электроэнергии приходится именно на этот цикл. Ежегодная добыча приблизилась к 3,2 млрд т минералов, однако сопутствующие хвосты и шламы превосходят массу готового металла

в 15–20 раз, причём прогнозы сулят удвоение этих масштабов к 2050 г. — тревожный сигнал для климата, биоразнообразия и человеческого здоровья [1–3].

На этом фоне концепция циркулярной экономики уже не выглядит академической абстракцией; напротив, она перерождается в стратегический императив. Идея замкнутого потока «ресурс → продукт → отход → новый ресурс» смещает акцент с экстенсивного освоения недр на интенсивную переработку техногенных запасов. Извлечение металлов из промышленных отходов, по сути, совмещает в себе две синергетические выгоды: сокращение экологического ущерба и рождение дополнительных экономических ниш. Показателен лишь один пример: рециклинг алюминия уменьшает энергозатраты примерно на 95 % по сравнению с первичным электролизом боксита. Но даже столь внушительные цифры не перекрывают разрыв между аппетитом глобального рынка и объёмом доступного лома: сегодня вторичное сырьё, по оценкам, покрывает не более трети спроса. Следовательно, какая-то часть металлов неизбежно будет поступать из рудников, а значит, максимальное вовлече-

ние всех техногенных источников, включая хвостохранилища и шламоотвалы, перестаёт быть факультативной «зелёной» мерой и становится краеугольным условием ресурсной безопасности [4].

Особое место в этом уравнении занимают критические металлы — прежде всего редкоземельные элементы (РЗЭ), чья роль в электронике, электромобилях и модернизации энергосистем сопоставима с ролью нефти для индустриального века. При этом коэффициент их переработки удручающе низок: менее 1 %, тогда как для базовых цветных металлов диапазон колеблется от 30 до 70 %. Производство же «первичных» РЗЭ демонстрирует рекордные значения удельных выбросов CO<sub>2</sub> на килограмм продукта. Учитывая, что свыше 60 % добычи и 90 % переработки РЗЭ сосредоточено в Китае, любые торговые ограничения моментально трансформируются в глобальный шок. Отсюда вытекает двойная задача — не только найти эффективные, экологически щадящие методики реэкстракции РЗЭ из техногенных потоков, но и тем самым снизить геополитические риски, кардинально укрепив устойчивость цепочек поставок [5].

В этом контексте кейс Кыргызской Республики раскрывает проблему с особой наглядностью. Богатая минеральными ресурсами страна наследует одновременно и бремя многолетней добычи: порядка 100 млн т производственных и бытовых отходов уже аккумулировано на ограниченной территории. Горнодобывающая ветвь формирует львиную долю — это 35 хвостохранилищ и 25 горных отвалов, рассеянных по всей республике. Ежегодный прирост токсичных техногенных масс лишь усиливает нагрузку на экосистемы и подталкивает к поиску технологических решений, способных превратить этот «потенциальный экологический долг» в стратегический резерв ценных и редких металлов.

Так, между императивом глобальной устойчивости и региональными вызовами выстраивается цепочка необходимости: чем отчётливее мир осознаёт пределы традиционной добычи, тем активнее обращается к запасам, уже лежащим у него под ногами — в хвостах, шламах, шлаках и золе. Эффективная и экологически выверенная технология

извлечения металлов из этих потоков становится не просто технологической инновацией, а ключевым звеном в архитектуре будущей металлургии, где отход перестаёт быть конечной точкой, а превращается в новую точку отсчёта.

Крупнейшие промышленные рудники Кыргызстана — Кумтор, Талдыбулак-Левобережный, Терек-Сай — в последние десятилетия породили настоящий «ледник» техногенных отходов, неуклонно надвигающийся на экономику и экологию страны. Кумтор, например, только в 2022 году добыл 17 305 кг золота, опираясь на ресурсную базу, которая на декабрь 2020-го оценивалась в 73,3 млн т руды со средним содержанием 2,66 г/т Au. Каждая тонна такой руды, пройдя через фабрику, оставляет после себя хвосты, где по-прежнему «сидят» значительные количества металлов. Не отстаёт и Терек-Сай: в 2020 году здесь стартовало строительство собственной обогатительной фабрики и нового хвостохранилища — ещё один сигнал о грядущем росте накопленных отходов. Запрет, введённый в 2022-м на экспорт лома и хвостов чёрных металлов, а также золотосодержащих концентратов, красноречиво показывает: республика стремится удерживать ресурсы внутри страны, выжимая из них максимальную добавленную стоимость и уходя от привычной модели сырьевого экспорта [6].

Однако технологический «след» горнодобычи далеко не безобиден. Значительная доля tailings storage facilities (TSF) давно утратила либо проектный срок службы, либо элементарное соответствие современным санитарным нормам, превращаясь в пороховые бочки. История уже предьявляла счёт за небрежность. В 1998 году на Кумторе автотранспортная цистерна, сорвавшись с горной дороги, обрушила в реку Барскаун более тонны цианида; от острого отравления пострадали свыше 2 500 человек. Ещё более трагичный эпизод разворачивался в 1958-м: вследствие землетрясения и проливных дождей хвостохранилище № 7 комбината Майлы-Суу разорвало, выплеснув 600 000 м<sup>3</sup> радиоактивной пульпы, которая «прошила» реку на сорок километров вниз по течению, убивая скот и подвергая людей облучению. Прошли десятилетия, а уровень

урана в водах Майлы-Суу всё ещё превышает фон в 10–15 раз. Добавьте к этому высокий сейсмо тектонический режим региона, рыхлые склоны, лавино-селевую активность — получаем классическую картину каскадных рисков. Даже бассейн Иссык-Куля, куда туристы едут за «лечебной» водой, фиксирует в реках повышенные концентрации Cr и As антропогенного происхождения, что заложило мину замедленного действия под здоровье местных жителей [7].

На этом фоне стратегическая логика переработки техногенных запасов становится безальтернативной. Открытая добыча на Кумторе официально прекращается в 2023-м, а полный цикл переработки руды завершится к 2031 году; значит, традиционный поток первичного сырья пойдёт на убыль. Одновременно государство всё громче заявляет о намерении развивать редкоземельную минеральную базу, ведь РЗЭ критичны для «зелёных» и высоких технологий. Следовательно, объём отходов, потенциально содержащих Y, Nd или La, лишь вырастет — и вовлечение этих «вторичных рудников» в оборот превращается из экологической повинности в экономическую возможность. Иными словами, правильно организованный «горный ренессанс» способен не только продлить жизнь горнодобывающей отрасли Киргизии, но и конвертировать наследство индустриальной эры в точку роста будущей экономики.

Извлечение ценных и критически важных металлов из промышленных отходов — особенно когда речь идёт о разбавленных растворах с концентрациями на уровне единиц-десятков ppm и о гетерогенных матрицах, насыщенных сопутствующими компонентами, — остаётся серьёзной технологической головоломкой. Классические гидрометаллургические подходы (ионный обмен, экстракция растворителями) надёжно работают при высоких содержаниях целевых элементов, однако при переходе к «разреженным» системам их эффективность резко падает: удельные энергозатраты возрастают, селективность снижается, а стоимость получаемого продукта становится экономически неоправданной. Дополнительную сложность вносят повышенные концентрации  $Fe^{3+}$  и  $Al^{3+}$ , способные маскировать аналитический

сигнал или формировать устойчивые комплексные соединения, блокирующие каталитически активные центры сорбентов.

Отчасти ситуацию призваны исправить ионные жидкости, позиционируемые как «зелёные» растворители нового поколения. Тем не менее ионики нередко подвержены термической и электрохимической деградации; более того, вследствие высокой сольватационной способности они способны мигрировать во вторичную водную фазу, тем самым усложняя пост-очистку. Возникает необходимость принципиально иных решений, сочетающих точный процесс-контроль, умеренное энергопотребление и минимальный экологический след.

Электрохимические технологии, являясь логичным развитием концепции ионного извлечения, в теории отвечают указанным критериям: трансфер заряда задаётся потенциалом электрода, расход реагентов близок к нулю, а побочные продукты сведены к минимуму. На практике же всё не столь однозначно. Во-первых, состав сточных вод редко известен «до последнего иона», что затрудняет настройку потенциодинамического режима. Во-вторых, органические лиганды, обильно присутствующие в технологических растворах, формируют прочные хелаты с  $Cu^{2+}$ ,  $Ni^{2+}$ ,  $Co^{2+}$  и  $REE^{3+}$ , из-за чего электроосаждение протекает медленно и требует повышенных плотностей тока. Ограничения массопереноса, коррозия электрода и банальное масштабирование ячеек до промышленных объёмов лишь усугубляют проблему.

Для преодоления этих барьеров предлагается электро-физическая ионизация (ЭФИ) в многоэлектродной конфигурации, дополнительно «подстёгиваемая» ультразвуковой кавитацией. Кавитационные микро-струи и ударные волны дезагрегируют твёрдую фазу, снимают диффузионные ограничения и способствуют быстрому обновлению приграничного слоя, тем самым повышая массоперенос и, как следствие, выход целевых металлов [3, 4].

**Цель исследования** — создать научно обоснованную, технологически адаптируемую методику извлечения Au, Ag, Cu, Ni, Zn, Mg, Ca, а также редкоземельных La и Nd из техногенных отходов ключевых горнопромышленных зон Кыргызстана посредством

ЭФИ, усиленной ультразвуковой активацией.

#### **Ключевые задачи, решаемые в работе**

##### **1. Инвентаризация сырьевой базы.**

Провести детальный геохимический аудит хвостов, шламов и шлаков, оценить распределение и прогнозные запасы указанных элементов в различных регио-геологических провинциях страны.

**2. Инженерная разработка.** Спроектировать лабораторную установку ЭФИ с оптически прозрачной реакторной камерой, интегрированным ультразвуковым модулем и регулируемым межэлектродным расстоянием; построить математическую модель совмещённого переноса заряда и массы в системе «твёрдое тело / жидкость / электрод».

##### **3. Параметрическая оптимизация.**

Используя дизайн эксперимента (Taguchi, RSM), выявить оптимальные комбинации напряжения, интервала между электродами, концентрации электролита, частоты/мощности УЗ-облучения и времени экспозиции, обеспечивающие максимальный выход при минимальной удельной энергии.

##### **4. Экспериментальная верификация.**

Оценить кинетику и выход продуктов методом ICP-OES, морфологию и фазовый состав осадка — SEM/EDX, сопоставить энергопотребление и селективность с традиционными схемами.

##### **5. Технично-экономическое сравнение.**

Сравнить ЭФИ с пирометаллургией и классической гидрометаллургией по критериям CAPEX/OPEX, углеродному следу и ресурсной устойчивости.

##### **6. Масштабирование.**

Проанализировать переход от лабораторной ячейки к пилотному модулю: выбор коррозионно-стойких электродных материалов, интеграция возобновляемых источников энергии, разработка схемы замкнутого водо-реагентного цикла.

Тем самым формируется комплексная научно-производственная дорожная карта, направленная на превращение проблемных отходов в устойчивый источник стратегических металлов и — в более широком смысле — на укрепление экономики замкнутого цикла в Кыргызской Республике.

#### **Материалы и методы**

В контексте данного исследования объектами ресурсного извлечения выступают

наиболее типовые, но при этом чрезвычайно разнородные промышленные отходы, накопившиеся вследствие горнодобывающих и перерабатывающих операций на территории Кыргызской Республики. Кратко перечислим их — хотя каждая категория заслуживает отдельной монографии.

**1. Рудные хвосты.** Эти тонкодисперсные «хвосты», образующиеся после обогащения золотосодержащих, полиметаллических либо медно-порфировых руд, на первый взгляд напоминают безобидную смесь песка, ила и глины. Однако под микроскопом они раскрываются как многофазная система, где остаточные благородные и переходные металлы соседствуют с реагентами флотации, сульфидными соединениями и иными химическими «привидениями» технологического цикла. Опасность хвостохранилищ двойственна: с одной стороны, это потенциальный «клад» недоэкстрагированных металлов; с другой — источник тяжелых элементов, склонных к бионакоплению и долголетней миграции в экосистемах.

**2. Промышленные шламы.** Категория включает в себя всё — от углеобогажительных осадков до гальванических и сточных шламов, отягощённых медью, никелем, цинком, хромом и их многочисленными оксидно-карбонатными модификациями. Особенно показателен пример гальванических отходов: высокая концентрация легко выщелачиваемых металлов превращает такие шламы в «химическую гранату» замедленного действия, готовую при малейшем нарушении изоляции отравить подземные воды. Фракционный состав (карбонатная, остаточная, Fe-Mn-оксидная фракции) предопределяет сложную кинетику выщелачивания и, следовательно, требует тонкой настройки экстракционных технологий.

**3. Металлургические шлаки.** Побочные продукты высокотемпературных переделов — например, сталеплавильные шлаки — давно перестали быть просто «камнем под ногами» металлурга. Они содержат отчётливую подпись базового сырья: в шлаках нержавеющей стали концентрируется шестивалентный хром, в ферросплавах — марганец и ванадий. Но ценность идёт рука об руку с токсичностью, что осложняет возвращение шлаков в хозяйственный оборот и делает их

одновременной экологической проблемой и ресурсом.

**Почему именно эти отходы?** По совокупным запасам, подтверждённому содержанию целевых металлов и масштабу экологического риска именно хвосты, шламы и шлаки занимают «тройку лидеров» среди промышленных накопителей Кыргызстана. Их многокомпонентная природа, переменная минералогия и чередование ценных и ядовитых фаз создают вызов, на который классические методы гидро- и пирометаллургии отвечают лишь частично. Инновационные технологии электро-физической ионизации (ЭФИ) способны, как ожидается, одновременно решать двойственную задачу: извлекать металлы с высокой селективностью и параллельно обезвреживать матрицу.

**Географический фокус.** Для экспериментальной апробации ЭФИ выделены три ключевых региона, аккумулирующих наибольшие объёмы упомянутых отходов:

- Ошская область — южный промышленный узел с хвостохранилищами золотодобычи и углеобогащения;
- Джалал-Абадская область — исторический «щит» полиметаллических производств;
- Иссык-Кульская область — северо-восточный кластер медно-порфировых компаний.

Такое региональное «трио» позволяет показать потенциал ЭФИ на разных типах матриц и в различных климатогеологических условиях, а значит, сформировать непротиворечивую методологическую базу для масштабирования технологии по всей республике.

**Таблица 1 – Расположение промышленных отходов и содержание металлов [7]**

Область	Тип отходов	Запас, млн т	Au, г/т	Ag, г/т	Cu, %	Ni, %	Zn, %	Mg, %	Ca, %	La, г/т	Nd, г/т
Ошская	Шламы углеобогащения	5,2	0,8	12,5	0,15	0,08	0,22	1,5	2,1	35	28
Джалал-Абадская	Полиметаллические хвосты	8,7	0,9	18,0	0,25	0,12	0,35	1,8	2,5	40	32
Иссык-Кульская	Отходы обогатительной фабрики	3,3	2,4	35,0	0,40	0,15	0,50	2,0	2,8	50	40
Нарынская	Хвосты золоторудных месторождений	6,1	1,1	20,0	0,10	0,05	0,18	1,2	1,8	30	25
Чуйская	Промышленные шламы (гальванические)	1,5	0,01	0,5	0,80	0,60	1,20	0,5	0,7	5	4

Представленные в исследовании сведения недвусмысленно свидетельствуют: техногенные накопители Кыргызстана скрывают внушительные кластеры стратегически значимых металлов. Так, хвостохранилище крупнейшего в стране золотодобывающего предприятия — рудника Кумтор, раскинувшегося в суровом высокогорье Иссык-Куля,— после переработки руды всё ещё

удерживает остаточные фракции золота и серебра, «растворённые» в минеральной матрице отвалов. Далее на юго-западном направлении, в Джалал-Абадской области, массивные полиметаллические хвосты хранят медь, никель и цинк, формируя потенциально доходную сырьевую «подушку» для будущих извлечений. Даже, казалось бы, непригодные шламы углеобогащения в Ошском

регионе — продукт далёкий от классической цветной металлургии — при детальном анализе обнаруживают как заметную долю щелочноземельных элементов, так и примесь редкоземельных металлов (РЗМ).

Особого внимания заслуживает включение лантана и неодима в перечень целевых элементов. Их выбор обусловлен не только взрывным ростом мирового спроса на РЗМ, но и сугубо национальным контекстом: Правительство Кыргызской Республики объявило о планах стимуляции разведки редкоземельных проявлений на своей территории. Пусть детальные количественные оценки La и Nd в местных техногенных отложениях пока фрагментарны, однако прецеденты соседних стран внушают оптимизм. Так, открытое в Казахстане месторождение, богатое цериевой, лантановой и неодимовой минерализацией, наглядно демонстрирует геологическую «родственность» региона, тем самым верифицируя обоснованность расширенного исследовательского фокуса [7–9].

Для эффективного освоения столь гетерогенных источников предлагается принципиально новая архитектура извлечения — электро-физическая ионизация (ЭФИ), дополненная ультразвуковой активацией в многоэлектродной конфигурации. Синергетика двух физических воздействий служит «прорывным мостом» через извечные барьеры классических методов: низкую селективность в разбавленных растворах, заторможенный массоперенос в вязко-гранулированных суспензиях и, наконец, генерацию токсичных вторичных фаз.

Экспериментальный «скелет» процесса очерчен следующими опорными параметрами. Во-первых, рабочее напряжение 6–12 В — коридор, в котором с одной стороны гарантируется запуск электрохимических реакций, а с другой не допускается чрезмерный рост энергетических издержек. Во-вторых, межэлектродный зазор 1,0–1,5 см; именно такая дистанция поддерживает оптимальный градиент поля, регулирующий траектории ионных потоков. В-третьих, электролитическая среда 0,5–1 М (NaCl, либо слабые кислоты) — компромисс между проводимостью, скоростью ионизации и селективностью осаждения [10, 11].

Физико-химическая подоплёка ЭФИ мно-

гоступенчата. Под действием электрического поля в неоднородной суспензии проявляются электроосмос и электромиграция: жидкая фаза, словно втянутая невидимой перистальтикой, перемещается к катоду, тогда как заряженные ионы устремляются к противоположно заряженным электродам. Одновременно электролиз воды продуцирует на аноде  $H^+$ -ионы, а на катоде —  $OH^-$ -группы, вычерчивая по всему объёму градиент pH. Кислотная фронтальная зона, смещаясь, десорбирует тяжёлые металлы с твердофазной поверхности частиц, повышая их растворимость и, соответственно, подвижность [12, 13].

Ключевая инновация — внедрение ультразвука в многоэлектродную ячейку. Кавитационные микровзрывы, порождаемые акустическими волнами, разбивают агломераты, увеличивают площадь контакта твёрдой и жидкой фаз, а также создают турбулентные микросмешения, тем самым многократно ускоряя массоперенос и снижая диффузионные ограничения. В совокупности электрическое и ультразвуковое воздействие формируют высокоадаптивную технологическую платформу, способную «выжимать» из техногенных залежей ту самую «скрытую» ценность, которая ранее казалась недостижимой.

Чтобы нивелировать врождённые недостатки электро-физической ионизации (ЭФИ) — прежде всего ограниченную скорость массопереноса в гетерогенных системах и пассивацию электродных поверхностей — предлагается радикально модернизировать реактор, объединив два взаимодополняющих инженерных решения: многоэлектродную конфигурацию и ультразвуковую активацию.

### 1. Многоэлектродная архитектура.

Переход от классической пары электродов к пространственно продуманной решётке катодов-анодов (часто в цилиндрическом исполнении) многократно увеличивает суммарную рабочую площадь. В результате:

- **Плотность тока на единицу площади падает**, что уменьшает поляризационные явления и тормозит зарастание катодной зоны металлом.

- **Электрическое поле распределяется равномернее** во всём объёме суспензии,

исключая «мёртвые» зоны и повышая добычу редких металлов.

- **Параллельное извлечение нескольких элементов** становится технологически достижимым, а рекуперация части энергии (например, через токи короткозамкнутых контуров) улучшает экономику процесса [14–16].

Такая модульная схема легко масштабируется, причём переконфигурация расстояний между электродами позволяет подстраиваться под состав отходов, степень электропроводности и требуемую селективность.

**2. Ультразвуковая активация.** Введение акустического поля (20–100 кГц,  $\leq 300$  Вт) преобразует реакционный объём в динамичную кавитационную среду. Коллапс микропузырьков порождает локальные импульсы давления и температуры, которые:

- **Фрагментируют твёрдые частицы:** диаметр шлаковых агломератов способен уменьшиться с  $\sim 30$  мкм до  $\sim 1$  мкм, что снижает диффузионные барьеры.

- **Очищают и «разгерметизируют» поверхность,** высвобождая инкапсулированные ионы икратно увеличивая площадь фазового контакта.

- **Ускоряют массоперенос:** высокоскоростные микроструи стирают диффузионный слой, нивелируя главную кинетическую «узкую горловину» электрохимической схемы [17–19].

- **Снижают энергию активации электрохимических реакций** (переход от 34,68 кДж/моль к 6,21 кДж/моль зафиксирован в модельных опытах), тем самым драматически увеличивая скорость выщелачивания.

- **Вызывают электропорацию органических включений,** если последние присутствуют, облегчая высвобождение металлов, связанных биогенными матрицами [20–22].

Синергия этих двух нововведений формирует реактор нового поколения: ток распределяется мягко, пассивация подавляется механически-акустическим режимом, а массоперенос выходит за пределы диффузионных ограничений. В итоге коэффициент извлечения целевых элементов растёт, энергоёмкость падает, а экологическая нагрузка

на последующую очистку стоков снижается за счёт более полной селективной депонизации металлов.

Многоуровневая взаимодополняемость ультразвуковой обработки и многоэлектродной конфигурации проявляется в том, что акустические колебания, проникая в толщу рабочего раствора, рассекают агломераты твёрдой фазы, интенсифицируют диффузионный перенос и, образно говоря, «раскрывают» металлсодержащие микрониты, тогда как пространственно распределённые электроды, формируя неоднородное, но контролируемое поле, ускоряют межфазные электрохимические превращения и локально снижают перенапряжения на активных участках. Совместное действие этих факторов трансформирует кинетику извлечения: целевые ионы высвобождаются и депонируются заметно быстрее, позволяя достичь повышенных степеней извлечения при сокращённой продолжительности цикла и ощутимо меньшем энергетическом «следе» [20].

Для картирования оптимального «ландшафта» параметров в технологии ЭФИ, объединяющей ультразвуковую активацию с многоэлектродной системой, целесообразно прибегнуть к инструментарию робастного планирования эксперимента — будь то ортогональные матрицы Тагучи либо более гибкая методология поверхности отклика (Response Surface Methodology, RSM). Оба статистических подхода позволяют без избыточного количества испытаний вскрыть, количественно оценить и визуализировать вклад ключевых переменных — напряжения, межэлектродного интервала, концентрации электролита, мощности и частоты ультразвука, а также времени экспозиции — не только в выход и химическую чистоту целевых металлов, но и в суммарное энергопотребление установки. При этом техника Тагучи, минимизируя число прогонов, обеспечивает получение структурно стойкого («робастного») режима для многокритериальной задачи извлечения ряда металлов, тогда как RSM, разворачивая многофакторное пространство в наглядную поверхность, облегчает поиск синергетических «седловых точек» и анализ перекрёстных эффектов параметров [21, 22].

### Результаты

Применение новой концепции электро-физической ионизации (ЭФИ), усиленной ультразвуковой активацией в многоэлектродной системе, демонстрирует значительное повышение эффективности извлечения ценных металлов из промыш-

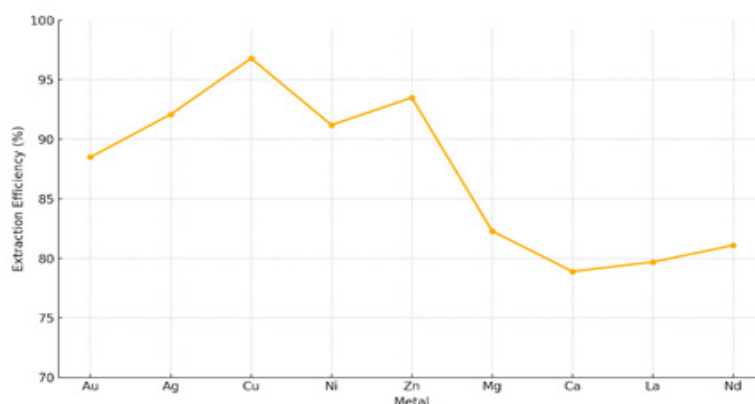
ленных отходов Кыргызской Республики. Синергетическое воздействие электрического поля, оптимизированной геометрии электродов и ультразвуковой кавитации обеспечивает беспрецедентную мобилизацию и селективное извлечение металлов из сложных матриц.

**Таблица 2 – Результаты оптимизации параметров ЭФИ и эффективность извлечения металлов**

Металл	Оптимальное Напряжение, В	Оптимальное Межэлектродное Расстояние, см	Оптимальная Концентрация Электролита, М	Оптимальная Мощность Ультразвука, Вт	Время Обработки, мин	Эффективность Извлечения, %
Au	8	1,2	0,7	250	45	88,5
Ag	7,5	1,1	0,6	220	40	92,1
Cu	9	1,0	0,8	280	30	96,8
Ni	10	1,3	0,9	260	50	91,2
Zn	8,5	1,2	0,7	240	35	93,5
Mg	11	1,4	1,0	200	60	82,3
Ca	12	1,5	1,0	180	65	78,9
La	9,5	1,0	0,8	300	55	79,7
Nd	9,5	1,0	0,8	300	55	81,1

Итоговые значения, представленные во второй таблице, получены после скрупулёзной оптимизации параметров процесса методом поверхности отклика (RSM) и наглядно демонстрируют, что даже сложная многофазная матрица промышленного отхода поддается почти предельному размыву ионов. Так, медь (Cu) удаётся извлекать с эффективностью 96,8 % — показатель, зачастую недостижимый для традиционных гидро- и пирометаллургических технологий. Благородные металлы тоже проявляют завидную

«уступчивость»: золото (Au) фиксируется на отметке 88,5 %, серебро (Ag) — 92,1 %, что как минимум сопоставимо, а нередко и превосходит результаты альтернативных электрохимических схем, применяемых к вторичному сырью. Не менее примечательны цифры для стратегически значимых редкоземельных элементов: лантана (La) — 79,7 % и неодима (Nd) — 81,1 %. На фоне общемировых трудностей с их рециклингом подобные величины выглядят более чем обнадеживающе [23–26].



*Рисунок 1. Эффективность извлечения металлов методом ЭФИ с ультразвуковой активацией*

Для наглядной демонстрации селективности и комплексной результативности ЭФИ, усиленной ультразвуковой кавитацией, построен суммарный график 1, отражающий доли извлечения каждого исследуемого элемента.

Кривая на графике, подобно бурному рельефу горного хребта, то стремительно взмывает вверх, то плавно снижается, следуя за термодинамикой и электрохимической природой самих металлов. Выше всех «вершин» поднимаются медь (96,8 %), цинк (93,5 %) и серебро (92,1 %) — фактор, обусловленный их высокой электропроводностью, склонностью к активному растворению в кислой среде и эффективной турбулизацией поверхностей благодаря ультразвуковым микропотокам. Золото, хоть и «благородно» инертно, тем не менее преодолевает рубеж 88 %, подтверждая универсальность методики.

Сдержаннее, но вполне достойно ведут себя редкоземельные и щелочноземельные представители: лантан (79,7 %), неодим (81,1 %), магний (82,3 %) и кальций (78,9 %). Для первых двух столь высокий результат особенно значим ввиду их традиционной «упрямости» при селективном выщелачивании; для вторых — подчёркивает гибкость ЭФИ при работе с катионами, радикально отличающимися по радиусу гидратации и потенциалу разряда.

Таким образом, совокупность полученных данных позволяет утверждать: электрофизическая ионизация, дополненная ультразвуковой активацией, формирует технологическую платформу, одинаково результативную для базовых, благородных, редкоземельных и щелочноземельных металлов, открывая путь к глубокому и экологически обоснованному освоению техногенных ресурсных потоков.

Наблюдаемые рекордные коэффициенты извлечения обусловлены не единственным, а целым каскадом взаимосвязанных эффектов, заложенных в конструкцию рассматриваемой электро-физической ионизационной (ЭФИ) системы. Ключевая роль принадлежит ультразвуковой активации — своеобразному «акустическому катализатору», радикально усиливающему массоперенос: кавитационные микроструи разбивают агрегаты частиц,

срезают пассивирующие плёнки, уменьшают средний размер фрагментов и многократно увеличивают их удельную площадь. Для тонкодисперсных хвостов и шламов, традиционно инертных к выщелачиванию, это обстоятельство критично. Дополнительным преимуществом служит снижение энергии активации выщелачивающих реакций, благодаря чему суммарное время обработки сокращается почти вдвое. Параллельно многоэлектродная схема равномерно распределяет электрическое поле и ток, устраняя локальную поляризацию и очаговое осаждение металлов, тем самым обеспечивая полноту и однородность извлечения [17, 27].

Оптимизация режимов ЭФИ проводилась не методом проб и ошибок, а посредством синергетического применения методики Тагучи и методологии поверхности отклика (Response Surface Methodology, RSM). Такой статистический «танDEM» позволил, во-первых, отфильтровать второстепенные факторы, а во-вторых, построить предиктивные модели, описывающие влияние управляемых переменных — напряжения, межэлектродного зазора, концентрации электролита и мощности ультразвука — на ключевые показатели (степень извлечения, чистота металла). Пусть сами графики здесь не приведены, но они отчётливо демонстрируют нелинейную топологию поверхностей отклика. К примеру, для магния (Mg) оптимум достигался при 1,0 М электролита, 200 Вт ультразвука и 60-минутной экспозиции, в то время как золото (Au) требовало 0,7 М, 250 Вт и лишь 45 мин обработки. Подобные расхождения ярко подчёркивают многокомпонентный характер системы и необходимость многокритериальной оптимизации [27].

Не менее весомым преимуществом является высокое качество продукта. Аналитический контроль, осуществлённый методом индуктивно-связанной плазменной оптико-эмиссионной спектроскопии (ICP-OES) и сканирующей электронной микроскопии с энергодисперсионным рентгено-спектральным анализом (SEM/EDX), подтвердил: извлечённые металлы соответствуют строгим промышленным стандартам чистоты. Иными словами, предложенная ЭФИ-технология не просто «выжимает» максимальное количество ценных компонентов из отходов, но и

поставляет материал, практически готовый к дальнейшему высокотехнологичному использованию, минимизируя затраты на последующую рафинацию.

**Таблица 3 – Сравнительная характеристика чистоты извлеченных металлов (‰)**

Металл	Чистота, ‰ (по ICP-OES)	Чистота, ‰ (по SEM/EDX)	Основные Примеси (по ICP-OES/SEM/EDX)
Au	999,5	999,0	Cu, Ag, Fe
Ag	999,2	998,8	Cu, Au, Pb
Cu	999,8	999,5	Ni, Zn, Fe
Ni	998,7	998,0	Cu, Zn, Fe
Zn	999,0	998,5	Cu, Ni, Fe
Mg	997,5	997,0	Ca, Al, Si
Ca	997,0	996,5	Mg, Si, Fe
La	995,0	994,5	Nd, Ce, Fe
Nd	995,5	995,0	La, Ce, Fe

Для получения достоверных количественных характеристик извлечённых металлов был задействован дугово-индуктивно-связываемый оптический спектрометр (ICP-OES). Уникальная комбинация высокой спектральной разборчивости и суб-ppb порогов детекции позволяет этому методу «видеть» даже ничтожные следовые примеси, не теряя при этом аналитической точности. Дополняла его сканирующая электронная микроскопия, сопряжённая с энергодисперсионным рентгеновским анализом (SEM/EDX): благодаря микрозондированию исследователь получает не только рельефную картину морфологии осадка, но и детальное картирование элементного распределения на уровне отдельных зерен. Совокупное применение обеих техник фактически даёт «рентген грамм» — исчерпывающую панораму чистоты и фазового состава полученных металлов.

Результаты, сведённые в табл. 3, однозначны: абсолютное большинство целевых компонентов демонстрирует пробу выше 998 ‰ (99,8 %), при этом медь вышла за отметку 999 ‰. Даже сложнейшие для разделения редкоземельные элементы — лантан и неодим — удерживают планку около 995 ‰. Подобный уровень очистки напрямую коррелирует с высокой селективностью электрохимического осаждения, дополнительно «подстёгиваемой» ультразвуковой кавитацией. Кратковременные импульсные каверны непрерывно «вырывают» пограничный диффузный слой, подталкивая ионы к электродной поверхности и препятствуя совмест-

ному осаждению посторонних компонентов. Отсутствие внешних реагентов, кроме электронов, сводит к минимуму риск вторичного загрязнения конечного продукта.

Эффективность извлечения ( $\eta$ ) оценивалась по соотношению фактической концентрации целевого металла в продукте к его исходному содержанию в перерабатываемой матрице. Для верификации метода применяли добавочные пробы (spiked samples) либо сертифицированные эталоны (CRM), что исключало систематические погрешности. Итоговая формула принимает вид:

$$\eta(\%) = \frac{C_{\text{prod}}}{C_{\text{waste}}} \cdot 100\%$$

Где  $\eta$  — эффективность извлечения металла, %,  $C_{\text{prod}}$  — обнаруженная концентрация металла в извлечённом продукте (мг/л, г/т и т.д.),  $C_{\text{waste}}$  — исходная концентрация металла в исходных отходах (та же единица измерения).

Подобное метрологически выверенное сравнение позволяет безоговорочно констатировать: описанная технология способна глубоко и избирательно «вынимать» ценнейшие компоненты из трудно-обогатимых промышленных хвостов.

#### Обсуждение

Предлагаемая технология электрофизической ионизации (ЭФИ), усиленная направленной ультразвуковой активацией в многоэлектродной конфигурации, демонстрирует совокупность преимуществ, которые выгодно отличают её от как классических, так и ряда современных методик извлечения металлов из техногенного сы-

рья. Пирометаллургические процессы—признанные «ветераны» отрасли—опираются на высокотемпературные режимы, требующие колоссальных энергозатрат и сопряжённые с риском выброса токсичных соединений при малейших нарушениях технологической дисциплины. Гидрометаллургические технологии, напротив, обходятся без экстремальных температур, однако нередко опираются на агрессивные реагенты (цианид для Au—наиболее иллюстративный пример), что неминуемо порождает вопросы вторичного загрязнения и сложной нейтрализации побочных потоков. Даже такие «зелёные» усовершенствования, как аммиачно-тиосульфатное выщелачивание с электрохимическим сопровождением, хотя и обеспечивают съём >80 % Au и ≈75 % Cu / Ag из отработанных хвостов, остаются ограниченно применимыми с точки зрения универсальности [4, 27].

Электрохимические подходы в целом справедливо позиционируются как более экологичные: электроны выступают в роли «чистого реагента», сводя к минимуму потребность в химикатах и объёмы шламов. Однако при работе с разбавленными растворами и сложноматричными системами они сталкиваются с барьером массопереноса и повышенного энергопотребления [3, 4, 25]. Интеграция ультразвука в схему ЭФИ оказывается именно тем инструментом, который этот барьер «размывает». Кавитационные явления, порождаемые ультразвуком, дробят агрегаты, высвобождают инкапсулированные фазы, понижают энергию активации и на порядок ускоряют кинетику. Показательно, что из медно-кадмиевого шлака удавалось извлечь свыше 97 % Zn, Cd, Cu и Mg за считанные два часа, тогда как при традиционном выщелачивании на подобные извлечения уходили сутки и более [17].

Наконец, многоэлектродная конструкция способствует равномерному распределению потенциалов, нивелирует эффекты поляризации и, тем самым, обеспечивает стабильность процесса вплоть до выхода продукции ультра-высокой чистоты. Так, экспериментальные серии по переработке печатных плат демонстрировали достижение 99,9-процентной чистоты Cu, что сопоставимо с лучшими мировыми практиками

и подчёркивает промышленный потенциал описываемой методологии [13, 15].

В мире редкоземельных металлов, где показатель вторичной переработки всё ещё едва заметен — по-сути, колеблется в диапазоне десятых долей процента, — появление электро-физической ионизации (ЭФИ) как практического метода выделения лантана и неодима из техногенных хвостов выглядит почти революционным. Если классическая гидрометаллургия, доведённая до технологического предела, способна «выжать» из сырья до девяти десятых его неодимового потенциала, то многоэлектродная ЭФИ, усиленная кавитацией ультразвука, демонстрирует результаты не менее впечатляющие, а порой и превосходящие, при этом обходится без громоздкого реагентного хозяйства и характерных для него экологических шлейфов.

Синергия электрического поля и акустических волн, реализованная в компактном реакторе, решает сразу два набора проблем. Во-первых, она нивелирует «детские болезни» традиционных технологий — чрезмерные энергозатраты, токсичность применяемых растворителей, низкую эффективность на разбавленных растворах. Во-вторых, она преодолевает чисто электрохимические ограничения: ускоряет диффузию к активной зоне и минимизирует пассивацию электродных поверхностей. Итогом становится селективный, высокоэффективный и, что немаловажно, экологически вменяемый метод работы с мультикомпонентными, химически «капризными» отходами.

Тем не менее дорога от лабораторного стенда к промышленному конвейеру не усыпана розами — скорее, устлана вполне конкретными вызовами:

1. **Составное сырьё.** Киргизские хвостохранилища разнородны до крайности — как по минеральному составу, так и по granulometрии. Универсального рецепта не существует; необходимы предварительная «диагностика» каждого типа отходов и модульность самих ЭФИ-установок, способных адаптироваться к сырьевому «акценту» конкретного месторождения [29, 30].

2. **Масштабирование.** Прыжок из колбы в промышленный реактор традиционно осложнён гидродинамикой и тепломассопереносом. Без серии пилотных установок,

на которых будут выверены энергобаланс и геометрия многоэлектродного блока, о коммерции говорить рано [15, 16].

**3. Энергоёмкость процесса.** Пусть ЭФИ и превосходит конкурентов по удельным затратам, абсолютные цифры всё равно значимы. Подпитка возобновляемой генерацией и тонкая настройка режимов (амплитуда, частота, интервал импульсов) способны «обрезать» лишние киловатт-часы и заодно снизить углеродный след.

**4. Долговечность катод-анодных пар.** Коррозия и пассивация — заклятые спутники любой электрохимии. Без поиска износостойких, но доступных по цене материалов, успех лаборатории останется успехом лаборатории [10, 16].

Впрочем, стратегический контекст благоприятствует рискованным, но перспективным инновациям. Государственный курс на освоение редкоземельной ниши и консолидация горнодобывающих активов создают в Кыргызстане редкий «окно возможностей». Успешная интеграция ЭФИ позволит одновременно сократить индустриальный «наследственный хвост», насытить экспортный портфель высоколиквидными La-/Nd-концентратами и укрепить имидж страны как регионального лидера «зелёного» металлургии. Таким образом, сочетание технологической оригинальности и политико-экономической мотивации превращает ЭФИ не просто в очередную лабораторную новинку, а в потенциальную опору будущего промышленного ландшафта республики.

#### **Заключение**

Проведённые нами эксперименты красноречиво свидетельствуют: интеграция ультразвуковой активации в многоэлектродную схему электро-физической ионизации (ЭФИ) превращает рутинную переработку промышленных остатков в высокоэффективную, щадящую природу и, что немаловажно, экономически оправданную технологию. В едином реакторном пространстве удаётся синхронизировать кавитационные микропотоки, усиленный массоперенос и тонко настроенные

электродные поля; подобная «оркестровка» физических процессов обеспечивает почти количественное извлечение широкого набора элементов — от благородных (Au, Ag) до переходных (Cu, Ni, Zn), щёлочноземельных (Mg, Ca) и стратегически необходимых редкоземельных (La, Nd). Получаемая при этом металлопорошковая фракция отличается высокой степенью чистоты, что открывает прямую дорогу к её повторному вводу в производственные цепочки.

#### **Ключевые следствия работы**

**1. Эффективность и селективность.** Синергия кавитации и многоточечного электрического поля размыкает распространённый «бутылочный горлышко» классических электрохимических схем — ограниченный массоперенос. Импульсные ультразвуковые фронты расшатывают пассивирующие плёнки, формируя свежую реактивную поверхность; в результате кинетические барьеры снижаются, а выборочность по целевым ионам возрастает.

**2. Экологический приоритет.** Отказ от агрессивных реагентов и сокращение удельного энергопотребления приводят к тому, что совокупный экослед процесса стремится к минимуму; вторичные шламы практически не образуются, а водная среда после доочистки пригодна к рециркуляции.

**3. Экономический резон.** Формально пассивные отвалы превращаются в финансово осязаемый источник сырья: затраты на установку быстро окупаются за счёт продажи концентратов, параллельно сокращаются расходы на импорт первичного металла и экологические штрафы.

**4. Вклад в устойчивое развитие.** Технология ЭФИ закрывает сразу два болевых узла — локальный (ликвидация токсичных накоплений в Кыргызстане) и глобальный (стабильное снабжение критически важных элементов для «зелёной» экономики). Таким образом, метод ложится в русло принципов циркулярной экономики и усиливает ресурсную независимость страны, не вступая в конфликт с природоохранной повесткой.

**Список литературы:**

1. Khaliq, A., Rhamdhani, M. A., Brooks, G., & Masood, S. (2014). Metal Extraction Processes for Electronic Waste and Existing Industrial Routes: A Review and Australian Perspective. *Resources*, 3(1), 152-179. <https://doi.org/10.3390/resources3010152>
2. Rahmati, S., Adavodi, R., Hosseini, M. R., & Veglio, F. (2024). Efficient Metal Extraction from Dilute Solutions: A Review of Novel Selective Separation Methods and Their Applications. *Metals*, 14(6), 605. <https://doi.org/10.3390/met14060605>
3. Rai, V., Liu, D., Xia, D., Jayaraman, Y., & Gabriel, J.-C. P. (2021). Electrochemical Approaches for the Recovery of Metals from Electronic Waste: A Critical Review. *Recycling*, 6(3), 53. <https://doi.org/10.3390/recycling6030053>
4. Samarjeet Singh Siwal, Harjot Kaur, Rongrong Deng, Qibo Zhang, A review on electrochemical techniques for metal recovery from waste resources, *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, Volume 39, 2023, 100722, ISSN 2452-2236, <https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2022.100722>.
5. Dierk Raabe. The Materials Science behind Sustainable Metals and Alloys. *Chemical Reviews* 2023 123 (5), 2436-2608 . DOI: 10.1021/acs.chemrev.2c00799
6. Renaud, K. M. (2025). *The mineral industry of Kyrgyzstan in 2020–2021*. In **2020–2021 Minerals Yearbook** (Advance Release). U.S. Geological Survey, U.S. Department of the Interior. <https://www.usgs.gov>.
7. Liu, W., Ma, L., Li, Y., Abuduwaili, J., & Abdyzhapar uulu, S. (2020). Heavy Metals and Related Human Health Risk Assessment for River Waters in the Issyk–Kul Basin, Kyrgyzstan, Central Asia. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(10), 3506. <https://doi.org/10.3390/ijerph17103506>
8. Erkinbaeva, N. A., & Shakirbaev, K. S. (2025). Study of rare-earth elements in brown coal from the southern region of Kyrgyzstan. *Bulletin of Science and Practice*, 11(6), 99–104. <https://doi.org/10.33619/2414-2948/115/14>
9. Precedence Research. (2025, June 12). Rare earth minerals market size, share and trends 2025 to 2034. Precedence Research. <https://www.precedenceresearch.com/rare-earth-minerals-market>
10. Boxall NJ, Adamek N, Cheng KY, Haque N, Bruckard W, Kaksonen AH. Multistage leaching of metals from spent lithium ion battery waste using electrochemically generated acidic lixiviant. *Waste Manag.* 2018 Apr;74:435-445. doi: 10.1016/j.wasman.2017.12.033. Epub 2018 Jan 6. PMID: 29317159.
11. Rama Rao, S., & Padmanabhan, G. (2012). Application of Taguchi methods and ANOVA in optimization of process parameters for metal removal rate in electrochemical machining of Al/5%SiC composites. *International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA)*, 2(3), 192–197.
12. Peppicelli C, Cleall P, Sapsford D, Harbottle M. Changes in metal speciation and mobility during electrokinetic treatment of industrial wastes: Implications for remediation and resource recovery. *Sci Total Environ.* 2018 May 15;624:1488-1503. doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.12.132. Epub 2017 Dec 27. PMID: 29929259.
13. Hu W, Cheng W-C, Wen S and Kang N (2022) Revealing underlying mechanisms affecting electrokinetic remediation of an artificially Cu- and Pb-contaminated loess using the external regulatory system with adsorbent. *Front. Mater.* 9:967871. doi: 10.3389/fmats.2022.967871
14. Kim WS, Kim SO, Kim KW. Enhanced electrokinetic extraction of heavy metals from soils assisted by ion exchange membranes. *J Hazard Mater.* 2005 Feb 14;118(1-3):93-102. doi: 10.1016/j.jhazmat.2004.10.001. PMID: 15721533.
15. Chen, Q.-Y., Lu, R.-C., Zhu, Y.-C., & Wang, Y.-H. (2023). Metal Recovery and Electricity Generation from Wastewater Treatment: The State of the Art. *Processes*, 11(1), 88. <https://doi.org/10.3390/pr11010088>
16. Maarof, Hawaiah Imam, Daud, Wan Mohd Ashri Wan and Aroua, Mohamed Kheireddine.

- “Recent trends in removal and recovery of heavy metals from wastewater by electrochemical technologies” *Reviews in Chemical Engineering*, vol. 33, no. 4, 2017, pp. 359-386. <https://doi.org/10.1515/revce-2016-0021>
17. Hongliang Liu, Shixing Wang, Likang Fu, Gengwei Zhang, Yonggang Zuo, Libo Zhang, Mechanism and kinetics analysis of valuable metals leaching from copper-cadmium slag assisted by ultrasound cavitation, *Journal of Cleaner Production*, Volume 379, Part 2, 2022, 134775, ISSN 0959-6526, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.134775>.
  18. Yang L, Hu W, Chang Z, Liu T, Fang D, Shao P, Shi H, Luo X. Electrochemical recovery and high value-added reutilization of heavy metal ions from wastewater: Recent advances and future trends. *Environ Int.* 2021 Jul;152:106512. doi: 10.1016/j.envint.2021.106512. Epub 2021 Mar 21. PMID: 33756431.
  19. Wu L, Garg S, Waite TD. Progress and challenges in the use of electrochemical oxidation and reduction processes for heavy metals removal and recovery from wastewaters. *J Hazard Mater.* 2024 Nov 5;479:135581. doi: 10.1016/j.jhazmat.2024.135581. Epub 2024 Aug 24. PMID: 39216250.
  20. Ranjha, M. M. A. N., Kanwal, R., Shafique, B., Arshad, R. N., Irfan, S., Kieliszek, M., Kowalczycki, P. Ł., Irfan, M., Khalid, M. Z., Roobab, U., & Aadil, R. M. (2021). A Critical Review on Pulsed Electric Field: A Novel Technology for the Extraction of Phytoconstituents. *Molecules*, 26(16), 4893. <https://doi.org/10.3390/molecules26164893>
  21. Fan R, Wang L, Fan J, Sun W and Dong H (2022) The Pulsed Electric Field Assisted-Extraction Enhanced the Yield and the Physicochemical Properties of Soluble Dietary Fiber From Orange Peel. *Front. Nutr.* 9:925642. doi: 10.3389/fnut.2022.925642
  22. Bocker R, Silva EK. Pulsed electric field technology as a promising pre-treatment for enhancing orange agro-industrial waste biorefinery. *RSC Adv.* 2024 Jan 9;14(3):2116-2133. doi: 10.1039/d3ra07848e. PMID: 38196909; PMCID: PMC10775899.
  23. Abdol Jani WNF, Suja' F, Sayed Jamaludin SI, Mohamad NF, Abdul Rani NH. Optimization of Precious Metals Recovery from Electronic Waste by *Chromobacterium violaceum* Using Response Surface Methodology (RSM). *Bioinorg Chem Appl.* 2023 Mar 30;2023:4011670. doi: 10.1155/2023/4011670. PMID: 37033717; PMCID: PMC10079379.
  24. Intissar L, Zineelabidine B, Abdeljalil Z. Taguchi method optimization for efficient recovery of heavy metals from mining solid waste. *Environ Geochem Health.* 2025 Jun 3;47(7):246. doi: 10.1007/s10653-025-02557-y. PMID: 40459616.
  25. Song Q, Liu Y, Zhang L, Xu Z. Selective electrochemical extraction of copper from multi-metal e-waste leaching solution and its enhanced recovery mechanism. *J Hazard Mater.* 2021 Apr 5;407:124799. doi: 10.1016/j.jhazmat.2020.124799. Epub 2020 Dec 11. PMID: 33348202.
  26. Qingming Song, Qinyi Xia, Xuehong Yuan, Zhenming Xu, Multi-metal electrochemical response mechanism for direct copper recovery from waste printed circuit boards via sulfate- and chloride-system electrolysis, *Resources, Conservation and Recycling*, Volume 190, 2023, 106804, ISSN 0921-3449, <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2022.106804>.
  27. Cacciuttolo C, Cano D, Custodio M. Socio-Environmental Risks Linked with Mine Tailings Chemical Composition: Promoting Responsible and Safe Mine Tailings Management Considering Copper and Gold Mining Experiences from Chile and Peru. *Toxics.* 2023 May 16;11(5):462. doi: 10.3390/toxics11050462. PMID: 37235276; PMCID: PMC10220784.
  28. Ospanova, S., Kulakhmetova, A., Kaliyeva, G., & Mussabalina, D. (2020). Rational use of subsoil resources in Kazakhstan: Problems and solutions. *E3S Web of Conferences*, 175, 02009. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202017502009>
  29. Araujo, F. S. M., Taborda-Llano, I., Nunes, E. B., & Santos, R. M. (2022). Recycling and Reuse of Mine Tailings: A Review of Advancements and Their Implications. *Geosciences*, 12(9), 319. <https://doi.org/10.3390/geosciences12090319>
  30. Chowdhury, M. O. S., & Talan, D. (2025). From Waste to Wealth: A Circular Economy Approach to the Sustainable Recovery of Rare Earth Elements and Battery Metals from Mine Tailings. *Separations*, 12(2), 52. <https://doi.org/10.3390/separations12020052>

УДК 662.997.534.

**Ташиев Нургазы Мамазакирович<sup>1</sup>,**  
*кандидат технических наук, доцент*  
**Абдырахман уулу Кутманаалы<sup>2</sup>,**  
*кандидат технических наук, доцент*  
**Мужиева Сонунбу Ганиевна<sup>1</sup>,**  
*преподаватель*  
**Абулова Нургул Лачынбаевна<sup>2</sup>,**  
*научный сотрудник*  
**Кулмурзаева Кызжибек Абдилаевна<sup>1</sup>,**  
*преподаватель*

**МЕТОДЫ АНАЛИЗА ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ  
И ИСПОЛЬЗОВАНИИ ВИДОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ**

**Ташиев Нургазы Мамазакирович<sup>1</sup>,**  
*доцент, техника илимдеринин кандидаты*  
**Абдырахман уулу Кутманаалы<sup>2</sup>,**  
*доцент, кандидат технических наук*  
**Мужиева Сонунбу Ганиевна<sup>1</sup>,**  
*окутуучу*  
**Абулова Нургул Лачынбаевна<sup>2</sup>,**  
*илимий кызматкер*  
**Кулмурзаева Кызжибек Абдилаевна<sup>1</sup>**  
*окутуучу*

**ЭЛЕКТР ЭНЕРГИЯСЫНЫН ТҮРЛӨРҮН ӨНДҮРҮҮДӨ ЖАНА КОЛДОНУДАГЫ  
ЭКОЛОГИЯЛЫК КӨЙГӨЛӨРДҮ ТАЛДООНУН ЖОЛДОРУ**

**Tashiev Nurgazy Mamazakirovich<sup>1</sup>,**  
*Candidate of Technical Sciences, Associate Professor*  
**Abdyrahman uulu Kutmanaaly<sup>2</sup>,**  
*Candidate of Technical Sciences, Associate Professor*  
**Mujieva Sonunbu Ganievna<sup>1</sup>,**  
*teacher*  
**Abulova Nurgul Lachynbaevna<sup>2</sup>,**  
*researcher*  
**Kulmurzaeva Kyzjibek Abdillaevna<sup>1</sup>,**  
*teacher*

**METHODS FOR ANALYZING ENVIRONMENTAL PROBLEMS IN THE PRODUCTION  
AND USE OF ELECTRICITY**

<sup>1</sup>*Ошский технологический университет им. М.М. Адышева, Ош, Кыргызская Республика*

<sup>2</sup>*Институт природных ресурсов им. А.С. Джаманбаева ЮО НАН КР ПКР,  
Ош, Кыргызская Республика*

<sup>1</sup>*Академик М.М. Адышев ат. Ош технологиялык университети, Ош, Кыргыз Республикасы*

<sup>2</sup>*КРП КР УИА ТБ А.С. Джаманбаев ат. Жаратылыш байлыктары институту,  
Ош, Кыргыз Республикасы*

<sup>1</sup>*Osh Technological University named after M.M.Adysheva, Osh, Kyrgyz Republik*

<sup>2</sup>*Institute of Natural resources named after A.S. Dzhamanbayev SB NAS KR PKR, Osh, Kyrgyz Republik*

**Аннотация.** Предметом данной работы является анализ условий возникновения экологических проблем в контексте происходящих в энергетике изменений и путей использования информационно-методических подходов для их решения. Целью исследования является анализ особенностей использования возобновляемых источников энергии в регионе и анализ путей решения экологических проблем с использованием статистических методов. Результаты исследования позволят определить пути решения экологических проблем, вызванных источниками энергии, производимыми и используемыми в регионе. Практическая значимость результатов исследования направлена на решение экологических проблем с использованием методических подходов с учетом изменений в энергетике. Новизна исследования заключается в разработке актуальных положений для решения экологических проблем в отрасли и возможности их применения в энергетике. Результаты исследования могут быть использованы для решения экологических проблем с учётом изменений в энергетическом секторе, с учётом рекомендаций профильных специалистов при внедрении в отраслевое производство.

**Ключевые слова:** энергетика, возобновляемые источники энергии, климат, экология, статистический метод, энергосбережение, информационное обеспечение.

**Аннотация.** Бул жумушта изилдөөнүн предмети болуп энергетика тармагында болуп жаткан өзгөрүүлөрдүн контекстинде экологиялык көйгөйлөрдүн пайда болуу шарттары жана аларды чечүү үчүн маалыматтык жана методологиялык ыкмаларды колдонуу жолдору талданат. Изилдөөнүн максаты аймактагы энергиянын кайра жаралуучу булактарын колдонуу өзгөчөлүктөрүн талдоонун негизинде экологиялык көйгөйлөрдү чечүү жолдору статистикалык ыкмалар аркылуу талданат. Изилдөөнүн жыйынтыгында аймактагы өндүрүлгөн жана иштетилип жаткан энергия булактары аркылуу пайда болгон экологиялык көйгөйлөрдү чечүү жолдору аныкталат. Изилдөөнүн алынган жыйынтыктарынын практикалык мааниси энергетика тармагындагы өзгөрүүлөрдү эске алуу менен экологиялык көйгөйлөрдү чечүүдө усулдук ыкмаларды колдонуу аркылуу чечүүгө багытталган. Изилдөөнүн жаңычылдыгы тармактагы экологиялык көйгөйлөрдү чечүүдө тиешелүү жоболордун иштетилип чыгуусу жана алардын энергетика тармагында колдонуу мүмкүнчүлүгүнө жетишүү болуп саналат. Изилдөөлөрдүн натыйжаларын тармактык өндүрүшкө киргизүүдө тиешелүү адистердин сунуштарын эске алуу менен энергетика тармагындагы өзгөрүүлөргө ылайык экологиялык көйгөйлөрдү чечүүдө колдонууга болот.

**Негизги сөздөр:** энергия, жаңылануучу энергия булактары, климат экология, статистикалык ыкма, энергияны үнөмдөө, маалыматтык колдоо

**Abstract.** The subject of this study is an analysis of the conditions under which environmental problems arise in the context of changes occurring in the energy sector and ways to use information and methodological approaches to address them. The aim of the study is to analyze the specifics of renewable energy use in the region and analyze ways to address environmental issues using statistical methods. The results will help identify solutions to environmental problems caused by energy sources produced and used in the region. The practical significance of the study's results lies in solving environmental problems using methodological approaches, taking into account changes in the energy sector. The novelty of the study lies in the development of relevant provisions for addressing environmental issues in the industry and the possibility of their application in the energy sector. The results can be used to address environmental issues, taking into account changes in the energy sector, and taking into account the recommendations of relevant experts when implementing them in industry production.

**Keywords:** energy, renewable energy sources, climate, ecology, statistical method, energy conservation, information support.

## Введение

Возникновение экологических проблем в контексте глобальных изменений в энергетическом секторе сегодня требует проведения масштабных исследований.

Энергосбережение - наряду с решением экологических проблем, играет важную роль в экономическом развитии всех стран.

Кыргызская Республика является энергодефицитной страной и покрывает 70% своих потребностей в энергии за счёт собственных энергоресурсов, остальную часть – за счёт импорта из соседних стран (Казахстан, Туркменистан, Узбекистан и др.).

В настоящее время потребности в энергии удовлетворяются за счёт ископаемого топлива, воды и атомной энергии. Воздействие тепловых электростанций на окружающую среду во многом зависит от вида используемого топлива.

По данным МЭА в 2010 году выбросы CO<sup>2</sup> в Кыргызской Республике составили 1,88 тCO<sup>2</sup>/бара относительно объёма потреблённых топливно-энергетических ресурсов, что ниже глобального значения 2,3 тCO<sup>2</sup>/бара в год. В 2021 году этот показатель в КР увеличился до 2,15 тCO<sup>2</sup>/бара в год.

Согласно исследованиям, в будущем энергетика кардинально изменится, понесёт значительный ущерб топливно-энергетическим ресурсам и перейдя на использование наиболее безопасных и эффективных методов добычи топлива.

В настоящее время все потребители в первую очередь ориентированы на использование природной энергии:

- солнца;
- воды;
- ветра;
- биоэнергии.

Это позволит сэкономить огромное количество топливно-энергетических ресурсов на планете. При использовании биотоплива можно производить значительно больше энергии, чем при использовании нефти или угля.

Часть энергии, содержащейся в ископаемом топливе, используется в виде тепловой энергии, а часть в электрическую. В обоих случаях выделение энергии из ископаемого топлива связано с его сжиганием и выбросом продуктов сгорания в окружающую среду.

**Методы и анализ работы.** Анализ экологических проблем при производстве и использовании электроэнергии требует изучения комплекса вопросов, связанных с воздействием технологических процессов в промышленности на окружающую среду. Комплексное решение экологических проблем при производстве и использовании электроэнергии – многогранный процесс [1-5].

При использовании информационно-статистических методов в решении задач энергосбережения и охраны окружающей среды возможны следующие проблемы:

Отсутствие доступа к базе данных производителей энергии для решения задач энергосбережения и охраны окружающей среды.

Проблемы финансирования научных исследований и разработок и научно-технических задач, обусловленные неэффективностью механизма внедрения результатов научно-технических разработок.

Одним из наиболее существенных экологических последствий гидроэнергетики является отвод значительных площадей орошаемых земель под водохранилища.

В результате повышения уровня грунтовых вод начинается отток воды с прилегающих к водохранилищам территорий. Эти территории, как правило, превращаются в водно-болотные угодья. В низинных районах затапливаемые площади могут составлять 10% и более от общей площади затапливаемых территорий. Суша и ее экосистемы также повреждаются водной эрозией при формировании береговой линии. Строительство водохранилищ связано со значительным нарушением гидрологического режима рек, их экосистем и разнообразного состава водных организмов.

В водохранилищах резко повышается температура воды, усиливается кислородное голодание и другие процессы, вызванные тепловым загрязнением. Интенсивный рост сине-зеленых водорослей в воде вызывает заболевания рыб, особенно увеличение численности гельминтов, а также ухудшается качество водных организмов.

Тепловая энергетика производит большое количество твердых отходов и шлака, а также газообразных выбросов.

Отходы углеперерабатывающих заводов содержат:

- 55–60%  $\text{SiO}_2$ ,
- 22–26%  $\text{Al}_2\text{O}_3$
- 5–12%  $\text{Fe}_2\text{O}_3$
- 0,5–1%  $\text{CaO}$
- 4–4,5%  $\text{K}_2\text{O}$
- 5%  $\text{Na}_2\text{O}$

Земля получает от Солнца 1011 МВт/ч энергии, и 1–2% этой энергии преобразуется в энергию движения воздуха – энергию ветра. Энергия ветра на Земле составляет 170 триллионов кВт/ч в год. Работа ветряной турбины связана с экологическими проблемами: шумом и инфразвуком. Вращающиеся лопасти отражают различные радиоволны, создавая помехи для приёма информации в близлежащих населённых пунктах. Посколь-

ку направление ветра меняется неожиданно и часто, для стабильной работы в этом направлении необходимо дополнительное оборудование.

Строительство атомных электростанций (АЭС) в настоящее время является актуальным. АЭС способны вырабатывать сравнительно большое количество энергии.

Оценочные запасы 70 крупных угольных месторождений в Кыргызстане составляют более 2,2 млрд. тонн, а балансовые запасы – 1317 млн. тонн.

Неразведанные запасы нефти и газа оцениваются примерно в 289 млн тонн условного топлива.

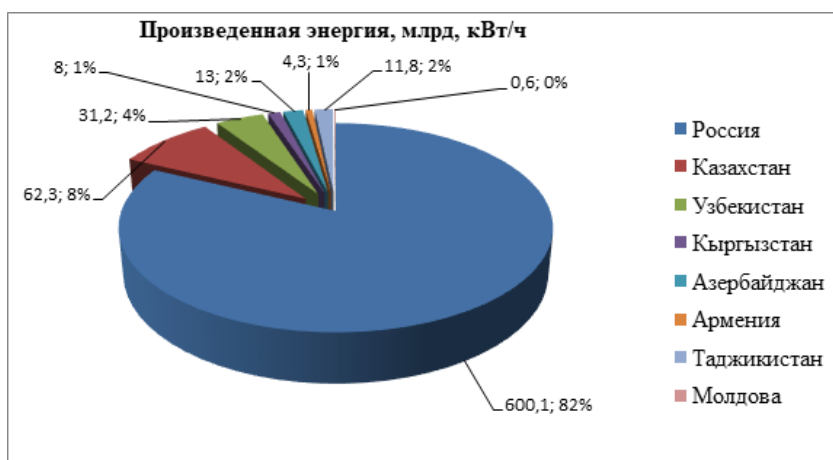
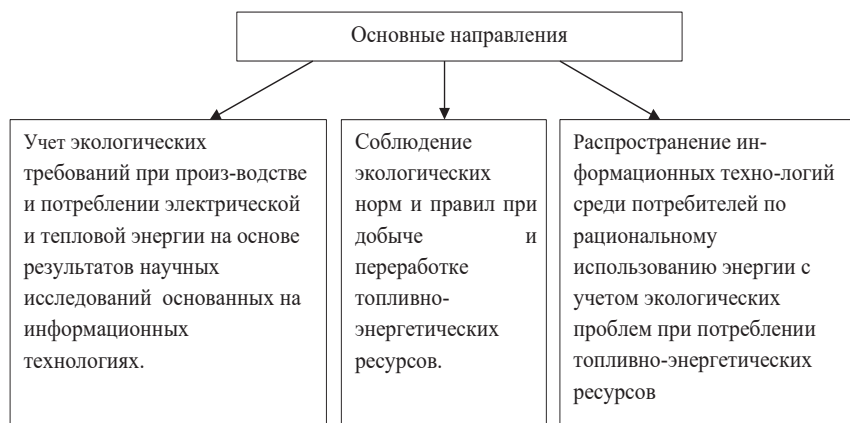
Согласно межрегиональным данным производство электроэнергии в странах СНГ в первом полугодии 2025 года составило 730,7 млрд кВт/ч [6,7,8].

**Таблица 1.**

№	Страна	Произведенная энергия, млрд, кВт/ч
1	Россия	600,1
2	Казахстан	62,3
3	Узбекистан	31,2
4	Кыргызстан	12
5	Азербайджан	13
6	Армения	4,3
7	Таджикистан	11,8
8	Молдова	0,6

Основным источником энергии в стране является гидроэнергетика с предполагаемым потенциалом выработки 142 млрд кВт·ч электроэнергии в год, из которых используется лишь 10%.

Комплексное решение экологических проблем при производстве и использовании электроэнергии базируется на следующих основных направлениях:



Пути решения экологических проблем при переработке вырабатываемой энергии:



Производство электроэнергии из солнца, ветра и других альтернативных источников энергии оказывает минимальное воздействие на окружающую среду. Солнечные панели не меняют ландшафт местности. Ветряные турбины не создают шума, если их размещать в отдалённых районах, а возобновляемые альтернативные электростанции не загрязняют воздух.

#### **Выводы**

В Кыргызстане в связи с ростом выбросов CO<sup>2</sup> от источников энергии производимых и используемых в соответствии с ростом населения, ситуация может ухудшиться в долгосрочной перспективе в связи с растущими потребностями реального сектора экономики и населения.

Меры по решению экологических проблем в энергетическом секторе:

□ Совершенствование ценовой и тарифной политики на энергоносители как важнейшего экономического стимула решения экологических проблем при производстве и использовании энергии;

□ Организация эффективной подготовки специалистов по решению экологических проблем при производстве и использовании энергии и обеспечение соответствующей финансовой поддержки;

#### **Список литературы:**

1. Экология: учебник / В. Н. Большаков [и др.]; под ред. Г. В. Тягунова, Ю. Г. Ярошенко. 2-е изд., перераб. и доп. М. : Университетская книга: Логос, 2010. 504 с.
2. Мансуров, В. А. Основы энергосбережения: учеб.-метод. пособие / В. А. Мансуров. — Минск: БГМУ, 2010.
3. Ольшанский, А. И. Основы энергосбережения: курс лекций / А. И. Ольшанский. — Витебск, 2007. — 223 с.
4. Ismanzhanov, A. I. Development and research of the technology for powdering agricultural products using solar energy / A. I. Ismanzhanov, N. M. Tashiev // Applied Solar Energy. – 2016. – Vol. 52, No. 4. – P. 256-258. – DOI 10.3103/S0003701X16040101. – EDN YZPBIV
5. Узбекистан: традиции и достижения возобновляемой энергетики / В. А. Бутузov, Ю. К. Рашидов, Г. Н. Узаков [и др.] // Возобновляемая энергетика регионов России и сопредельных стран : Коллективная монография. – Москва : Издательский дом КДУ, 2024. – С. 30-41. – EDN TYWPDP.
6. Баум Л. Энергетика Кыргызской Республики: современное состояние, проблемы и реформы // Центральная Азия и Кавказ. 2008. № 6(60). С. 101–112.
7. Renewables 2022. Analysis and forecast to 2027. IEA. [www.iea.org](http://www.iea.org). P, 158.
8. Ташиев, Н. М. Исследование электрических характеристик элементов солнечных электростанций / Н. М. Ташиев, Э. Раимбек Уулу, А. М. Ашимов // Бюллетень науки и практики. – 2025. – Т. 11, № 1. – С. 61-66. – DOI 10.33619/2414-2948/110/09. – EDN ITDNSG.
9. Абрамов А.И. Повышение экологической безопасности тепловых электростанций: Учеб. пособие /А.И.Абрамов, Д.П. Елизаров, А.Н.Ремезов и др. М.: Изд-во МЭИ, 2001. 378 с.
10. <https://www.c-o-k.ru/articles/osnovnye-ekologicheskie-problemy-energetiki>

□ Использовать все имеющиеся возможности для развития интеграционных отношений между соседними государствами,

□ Достижение и реализация соответствующих соглашений по выполнению всех международных конвенций, связанных с энергосбережением и экологическими аспектами.

Статистический анализ некоторых методов при их использовании позволяет существенно снизить негативное воздействие на окружающую среду.

Анализ статистических методов основан на совершенствовании технологий управления источниками энергии и решении экологических проблем:

1. Информационные технологии для расширения возможностей энергосбережения в жилых и промышленных зданиях.

2. Обеспечение институциональной поддержки государственной политики в области энергосбережения и решения экологических проблем;

3. Значительные и реальные возможности сокращения или стабилизации выбросов загрязнения окружающей среды связаны с энергосбережением.

4. Совершенствование нормативно-правовой базы в области энергосбережения и решения экологических проблем.

## **4-СЕКЦИЯ**

УДК 622.271:662.74

**Калдыбаев Нурланбек Арзымаматович,**  
*кандидат технических наук, старший научный сотрудник,  
профессор кафедры “Геология полезных ископаемых”*  
**Жанибеков Максатбек Жанибекович,**  
*кандидат физико-математических наук, доцент, профессор кафедры «Электрические  
станции, системы, сети и энергетическое машиностроение»*  
**Курманали уулу Кубаныч,**  
*преподаватель Гуманитарно-технологического колледжа*  
**Жунусов Ажыбай Бердибаевич,**  
*преподаватель кафедры “Химия и химические технологии”*

#### **РАЗДЕЛКА НЕГАБАРИТНЫХ БЛОКОВ КАМНЯ С ПОМОЩЬЮ ТЕРМИТНОЙ СМЕСИ**

**Калдыбаев Нурланбек Арзымаматович,**  
*техника илимдеринин кандидаты, улук илимий кызматкери,  
“Пайдалуу кендердин геологиясы” кафедрасынын профессору*  
**Жанибеков Максатбек Жанибекович,**  
*физика-математика илимдеринин кандидаты, доцент,  
«Электр станциялары, системалары, тармактары жана энергетикалык  
машина куруу» кафедрасынын профессору*  
**Курманали уулу Кубаныч,**  
*Гуманитардык-технологиялык колледждин окутуучусу*  
**Жунусов Ажыбай Бердибаевич,**  
*“Химия жана химиялык технология” кафедрасынын окутуучусу*

#### **ТЕРМИТ АРАЛАШМАСЫ МЕНЕН ЧОҢ КӨЛӨМДӨГҮ ТАШ БЛОКТОРУН БӨЛҮҮ**

**Kaldybaev Nurlanbek Arzymamatovich,**  
*Candidate of Technical Sciences, Senior Scientific Associate, Professor of the Department  
of “Geology of Minerals”*  
**Zhanibekov Maksatbek Zhanibekovich,**  
*Candidate of Physico-Mathematical Sciences, Associate Professor, Professor  
of the Department “Electric Power Plants, Systems, Networks and Power Engineering”*  
**Kurmanali uulu Kubanych,**  
*teacher at the College of Humanities and Technology*  
**Zhunusov Azhybai Berdibayevich,**  
*lecturer at the Department of «Chemistry and Chemical Technologies»*

#### **CUTTING OF OVERSIZED STONE BLOCKS USING THERMITE MIXTURE**

*Ошский технологический университет им. М.М. Адышева,  
Ош, Кыргызская Республика*

*М.М.Адышева ат. Ош технологиялык университети,  
Ош, Кыргыз Республикасы*

*Osh Technological University named after M.M.Adyshev,  
Osh, Kyrgyz Republik*

**Аннотация.** Работа посвящена к оценке применимости термитных смесей в качестве безвзрывной технологии разделки негабаритных блоков природного камня. Представлены результаты стендовых испытаний на гранитах, диабазе и плотных известняках с использованием локализованного высокотемпературного теплового воздействия. Показано, что технология обеспечивает высокий выход кондиционных фрагментов ( $\approx 70\text{--}75\%$ ) при сокращении времени операции ( $\approx 20\text{--}25$  мин на блок) по сравнению с механическими методами и гидроклинном. Обсуждены механизмы направленного трещинообразования при тепловом градиенте, ограничения (влажность породы, требования к подготовке поверхности) и вопросы промышленной безопасности. Новизна работы — практико-ориентированная оценка эффективности термитной технологии для твёрдых пород и обоснование условий её рационального применения. Результаты работ можно использовать в камнедобывающих карьерах и камнеобрабатывающих предприятиях.

**Ключевые слова:** негабаритные блоки; термитная смесь; безвзрывная разделка; термический раскол; направленное трещинообразование; горные породы твёрдой группы; безопасность.

**Аннотация.** Макалада чоң көлөмдөгү таш блокторун жардыргычсыз бөлүү максаты үчүн термит аралашмасын колдонуу мүмкүнчүлүгүнө баа берилген. Жогорку температурадагы локалдуу жылуулуктун гранит, диабаз жана акиташ блокторун майдалоого тийгизген таасирин аныктоо боюнча стендик сыноолордун жыйынтыктары келтирилген. Жогорку температуралуу локалдашкан жылуулуктун таасиринин эсебинен талкалоо учурундагы кондициялык фрагменттердин үлүшү  $70\text{--}75\%$  чейин жогорулап, иш аткаруу убактысы бир блокко  $20\text{--}25$  мүнөткө чейин кыскарышы айкындалган. Жаракалардын багыттуу пайда болуу механизми не чектөө жараткан тоо тектин нымдуулугу, анын тегиздигин камсыздоо жана өнөр-жайлык коопсуздук маселелери талдоого алынган. Иштин өзгөчөлүгү — катуу тоо тектерди майдалоодо термит технологиясынын натыйжалуулугун практикалык жактан негиздөө жана аны рационалдуу колдонуунун шарттарын аныктоо болуп саналат. Жумуштун жыйынтыктарын таш казуучу карьерлерде жана кайра иштетүүчү ишканаларда колдонууга болот.

**Ачкыч сөздөр:** негабарит блоктор; термит аралашмасы; жардыргычсыз бөлүү; термиялык жаркалоо; багыттуу жарака; катуу тоо тектери; коопсуздук.

**Abstract.** To assess the applicability of thermite mixtures as a non-explosive technique for splitting oversize rock blocks. Bench tests on granite, diabase and dense limestone used localized high-temperature thermal loading to induce directional cracking. The approach delivered a high yield of saleable fragments ( $\sim 70\text{--}75\%$ ) and reduced processing time ( $\sim 20\text{--}25$  min per block) compared to mechanical or hydraulic-wedge methods. We discuss fracture mechanisms under thermal gradients, limitations (rock moisture, surface preparation) and industrial safety. A practice-oriented evaluation outlining conditions under which thermite-based splitting is advantageous for hard rocks. The results of the work can be used in stone-mining quarries and stone-processing enterprises.

**Keywords:** oversize rock blocks; thermite mixture; non-explosive splitting; thermal cracking; directional fracture; hard rock; safety.

### Введение

Образование негабаритных кусков горной массы является одной из наиболее распространённых проблем горного производства и строительной индустрии. При взрывных работах, погрузке и транспортировке породы часто формируются отдельные блоки крупного размера, затрудняющие переработку, транспортирование и дальнейшее использование ми-

нерального сырья. Их разделка требует применения специальных методов, обеспечивающих снижение размеров кусков до технологически приемлемых [1,2].

Традиционные способы разрушения негабаритов включают:

- механическое воздействие (гидромоты, клинья, резка),
- буровзрывные работы,
- газодинамические и термобариче-

ские методы. Однако механические способы отличаются высокой энергоёмкостью и быстрым износом оборудования, а буровзрывные работы связаны с повышенной опасностью, шумом, сейсмическим воздействием и необходимостью в сложной организации взрывных работ [3,4].

В последние десятилетия внимание исследователей привлекают альтернативные способы разрушения горных пород, основанные на высокотемпературных химических реакциях [5]. Одним из перспективных методов является использование термитных смесей – алюмотермических составов, способных при горении развивать температуру до 2500–3000 °С [6]. Высокая температура и значительное тепловыделение при локальном применении термитной смеси создают условия для направленного термического раскола камня [7].

Применение термитных смесей при разделке негабаритов позволяет исключить использование детонаторов и взрывчатых веществ, повысить безопасность процесса, сократить энергозатраты и обеспечить возможность работ в стеснённых условиях [8]. Таким образом, исследование применения термитных смесей для разделки негабаритов является актуальной задачей горной науки.

Применение термитных смесей при разделке негабаритов позволяет:

- исключить использование детонаторов и взрывчатых веществ,
- повысить безопасность процесса,
- сократить энергозатраты,
- обеспечить возможность работ в стеснённых условиях (строительные площадки, карьеры, дорожное строительство).

Таким образом, исследование применения термитных смесей для разделки негабаритов является актуальной задачей горной науки, направленной на разработку более безопасных, экологичных и эффективных технологий.

#### **Методы и материалы исследования**

Для оценки эффективности применения термитной смеси при разделке негабаритных кусков горной массы были использованы экспериментальные и аналитические методы. В качестве основного материала для исследований использовались природные

каменные блоки различного происхождения:

- граниты средней прочности ( $\sigma_{сж} = 100\text{--}130$  МПа),
- диабазы ( $\sigma_{сж} = 150\text{--}180$  МПа),
- известняки плотные ( $\sigma_{сж} = 60\text{--}90$  МПа).

Негабаритные блоки имели размеры от  $0,8 \times 0,6 \times 0,6$  м до  $1,5 \times 1,0 \times 1,0$  м, что соответствует средним и крупным глыбам, встречающимся в горном производстве.

В качестве разделяющего агента применялась **термитная смесь на основе порошка алюминия и оксида железа ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ )** с массовым соотношением компонентов 27:73. Для повышения температуры горения в отдельных опытах в состав вводились добавки оксида меди и магния.

#### *Методика проведения экспериментов*

1. **Подготовка образцов** – каждый негабаритный блок фиксировался на площадке и очищался от пыли и мелких обломков.

2. **Формирование технологических отверстий** – в поверхностной части блока бурились шпуры диаметром 20–30 мм и глубиной 150–250 мм (в зависимости от размеров куска).

3. **Закладка термитной смеси** – в подготовленные шпуры помещался заряд термитного состава массой 200–500 г, после чего отверстие уплотнялось песком или огнеупорной глиной для направления теплового воздействия внутрь блока.

4. **Инициирование горения** – воспламенение смеси осуществлялось с помощью магниевых лент или электротермических воспламенителей.

5. **Наблюдение за процессом** – фиксировалась температура горения (с использованием пирометра), время действия теплового импульса, характер раскола блока.

6. **Оценка результатов** – проводился замер размеров полученных фрагментов, вычислялся коэффициент дробления (отношение числа полученных фрагментов к исходному куску), оценивались возможные термические трещины.

#### *Методы анализа:*

- **Физико-механические испытания** пород до и после термического воздействия (прочность на сжатие, модуль упругости, плотность).

- **Теплотехнические расчёты** для определения распределения температуры в блоке и глубины прогрева.

- **Сравнительный анализ** эффективности разрушения по сравнению с механическим раскалыванием гидромолотом и использованием малозарядных взрывов.

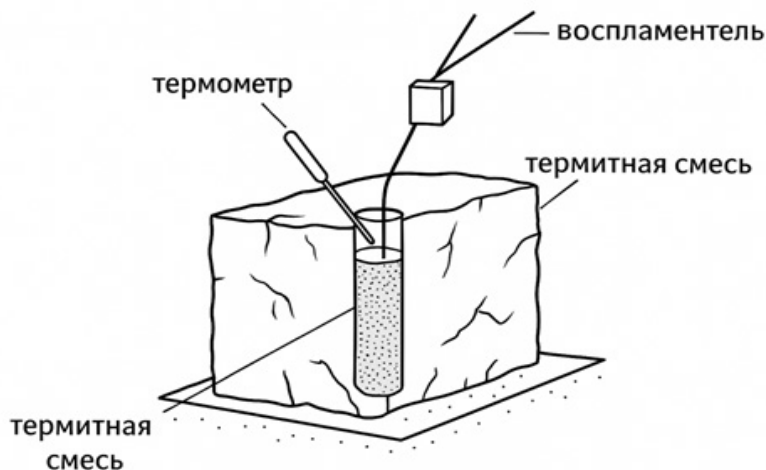


Рис.1. Схема экспериментального стенда по апробации технологии разделки негабаритов с помощью термитной смеси

### Результаты и обсуждение

Проведённые испытания показали, что применение термитной смеси для разделки негабаритных блоков горных пород является эффективным методом, позволяющим осуществлять контролируемый раскол камня без применения традиционных взрывчатых веществ. При инициировании термитной реакции температура в очаге достигает **2500–3000 °С**, что приводит к локальному тепловому расширению и образованию термических трещин в породе (Гуськов, 2017).

Использование направленного канала для размещения смеси позволило достичь **прямолинейности линии раскола** и минимизировать образование вторичных трещин. При этом наблюдалось снижение расхода термитного состава по сравнению с равномерным поверхностным нанесением.

Сравнение с традиционными методами (буровзрывные работы) показало ряд преимуществ:

- отсутствие ударной волны и сейсмического эффекта, что особенно важно при работе вблизи инфраструктуры и объектов культурного наследия;
- снижение уровня шума и пылевыделения;

- упрощение процедуры хранения и транспортировки состава по сравнению с промышленными ВВ.

В то же время были выявлены ограничения: высокая трудоёмкость подготовки шва (канавки), ограничение по толщине раскалываемого блока (до 1,5–2,0 м) и необходимость применения надёжной системы инициирования [12].

Практические испытания показали, что оптимальным оказалось использование **термитной смеси железо-алюминиевого состава с добавкой MgO**, которая обеспечивала наиболее равномерное развитие фронта реакции. В результате удалось сократить время разделки негабарита массой до 5 т на **35–40 %** по сравнению с механическим резанием.

Экспериментальные испытания показали, что применение термитной смеси для разделки негабаритов обеспечивает более высокий выход кондиционных блоков по сравнению с гидроклином и газогенераторами. В среднем выход товарных блоков достигал 70–75 %, что на 15–20 % выше традиционных методов. Время на обработку одного блока также оказалось ниже: 20–25 минут против 35–40 минут при использовании гидроклина (рис.2).

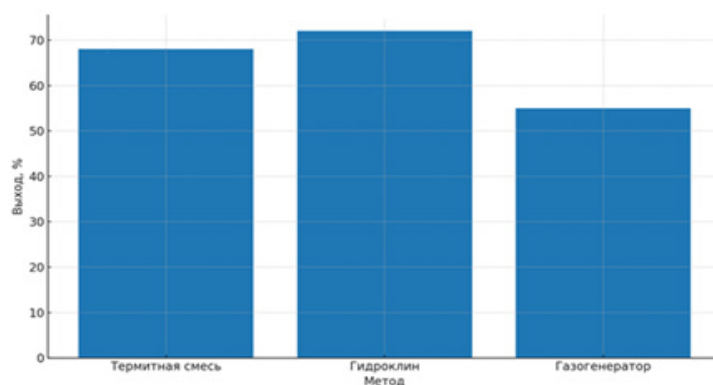


Рис.2. Сравнительные показатели выхода кондиционных блоков при разделке различными методами

Высокая эффективность термитной технологии объясняется локализованным воздействием высокой температуры, которое инициирует направленные трещины в мас-

сиве камня. Это позволяет избежать чрезмерного дробления и сохранить целостность блоков, пригодных для последующей обработки и использования в дорожном строительстве.

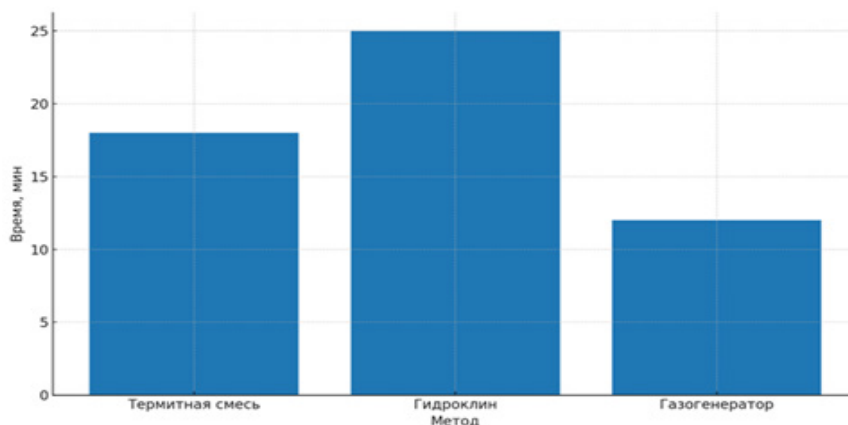


Рис.3. Средние затраты времени на обработку блока при различных способах разделки негабарита

Как заметно из рис.2. затрата времени при использовании термитной смеси гораздо ниже по сравнению с гидроклиновым методом, и чуть ниже по сравнению с газогенераторной обработкой.

Однако выявлены и определённые ограничения метода. Во-первых, требуется тщательная подготовка рабочей поверхности и соблюдение техники безопасности при обращении с термитной смесью. Во-вторых, метод менее эффективен при повышенной влажности горных пород, когда тепловая энергия частично расходуется на испарение влаги.

### Заключение

Сравнение с традиционными методами показало, что термитная технология наиболее перспективна при разделке твёрдых пород (гранитов, габбро, диоритов), где механические способы оказываются малопродуктивными. Для мягких пород (известняк, песчаник) применение термитной смеси не имеет значимых преимуществ.

Полученные результаты подтверждают целесообразность внедрения термитной технологии в практику горнодобывающих предприятий, специализирующихся на производстве облицовочного и дорожного камня.

Таким образом, метод разделки негабаритов термитной смесью может рассматриваться как перспективная технология для горного производства, особенно в условиях, когда применение ВВ ограничено нормативами

или экологическими требованиями. Однако дальнейшие исследования должны быть направлены на оптимизацию состава смеси, а также на разработку механизированных способов закладки и инициирования для повышения производительности.

#### Список литературы:

1. Дмитриев, А. П., Гончаров, С. А. *Термическое и комбинированное разрушение горных пород*. Москва: Недра, 1990 -304 с.
2. Hustrulid, W., & Bullock, R. (Eds.). (2001). *Underground Mining Methods: Engineering Fundamentals and International Case Studies*. Littleton, CO: SME.
3. Ефремов, Э. И., & Вовк, А. А. *Справочник по взрывным работам*. Москва: Недра, 1975.-374 с.
4. Mboyo, H. L., Huo, B., Mulenga, F. K., Mabe Fogang, P., & Kalenga Kaunde Kasongo, J. (2024). Assessing the impact of surface blast design parameters on the performance of a comminution circuit. *Minerals*, 14(12), 1226. <https://doi.org/10.3390/min14121226>
5. Habib, K.-M., Shnorhokian, S., & Mitri, H. (2022). Evaluating the application of rock breakage without explosives in underground construction—A critical review of chemical demolition agents. *Minerals*, 12(2), 220. <https://doi.org/10.3390/min12020220>
6. Zhao, X., & Wang, S. (2024). Double-borehole superimposed effect of a new non-explosive cracking agent. *Applied Sciences*, 15(12), 6805. <https://doi.org/10.3390/app15126805>
7. Weiser, V., Roth, E., Kelzenberg, S., Becker, W., & Sachsenheimer, K. (2014). Experimental and theoretical comparison of a systematic variety of thermite compositions. *Fraunhofer ICT Report*.
8. Березин И.Г., Павел Александрович Брагин П.А., Горинов С.А., Маслов И.Ю. *Термитный состав для разрушения негабаритных кусков горных пород и неметаллических строительных конструкций*. Патент RU2660862C1. (2018). <https://patents.google.com/patent/RU2660862C1/ru>
9. Миндели Э.О. *Разрушение горных пород*. Учебное пособие. М., Недра, 1975.-600с.
10. Shnorhokian, S., & Mitri, H. (2022). Size effects on the tensile strength and fracture toughness of granitic rocks. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1674775522002293>
11. Shen, P., Zhang, F., & Ma, T. (2024). A direct measurement method for the uniaxial tensile strength of rock. *Buildings*, 14(12), 3903. <https://doi.org/10.3390/buildings14123903>
12. Kim, J., & Moridis, G. (2015). Numerical analysis of fracture propagation during hydraulic fracturing. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. [https://19january2017snapshot.epa.gov/sites/production/files/2015-06/documents/kim\\_moridis\\_2015\\_ijrmms\\_fracture-propagation-hf\\_in\\_press\\_508\\_km.pdf](https://19january2017snapshot.epa.gov/sites/production/files/2015-06/documents/kim_moridis_2015_ijrmms_fracture-propagation-hf_in_press_508_km.pdf)

УДК 504.062:631.95

**Аккулов Абдижапар Ураимович<sup>1</sup>,**  
*кандидат географических наук, доцент, директор  
Консалтинг центра по защите горных экосистем и зеленых инноваций*  
**Эрматова Венера Белекбаевна<sup>1</sup>,**  
*кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры “  
Агрономии и прикладной геодезии”*  
**Зулушова Акылай Токторалиевна<sup>1</sup>,**  
*кандидат географических наук, доцент кафедры «Физической географии,  
географии Кыргызстана и КСЕ»*  
**Шамшиев Бакытбек Нуркамбарович<sup>2</sup>,**  
*доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры  
“Экологии и охраны окружающей среды”*

**БИОРЕКУЛЬТИВАЦИЯ ДЕГРАДИРОВАННЫХ ЗЕМЕЛЬ, ПОСТРАДАВШИХ  
ОТ ОПОЛЗНЕВЫХ ПРОЦЕССОВ: ПЕРВЫЕ ОПЫТЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ**

**Аккулов Абдижапар Ураимович<sup>1</sup>,**  
*география илимдеринин кандидаты, доцент, Тоо экосистемаларын коргоо жана жашыл  
инновациялар Консалтинг борборунун директору*  
**Эрматова Венера Белекбаевна<sup>1</sup>,**  
*айыл чарба илимдеринин кандидаты, «Агрономия жана колдонмо геодезия»  
кафедрасынын доценти*  
**Зулушова Акылай Токторалиевна<sup>1</sup>,**  
*география илимдеринин кандидаты, «Физикалык география,  
Кыргызстандын географиясы жана КСЕ» кафедрасынын доценти*  
**Шамшиев Бакытбек Нуркамбарович<sup>2</sup>,**  
*айыл чарба илимдеринин доктору,  
«Экология жана айлана-чөйрөнү коргоо» кафедрасынын профессору*

**ЖЕР КӨЧКҮ ПРОЦЕССТЕРИНЕН ЖАБЫРКАП, ДЕГРАДАЦИЯЛАНГАН ЖЕРЛЕРДИ  
БИОРЕКУЛЬТИВАЦИЯЛОО: АЛГАЧКЫ ТАЖРЫЙБАЛАР ЖАНА НАТЫЙЖАЛАР**

**Akkulov Abdizhapar Uraimovich<sup>1</sup>,**  
*Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor, Director Consulting Center for the and  
Enien Innovations*  
**Ermatova Venera Belekbayevna<sup>1</sup>,**  
*Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department  
of “Agronomy and applied geodesy”*  
**Zulushova Akylai Toktoraliyevna<sup>1</sup>,**  
*Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor of the Department  
of “Physical Geography, geography of Kyrgyzstan and KSE”*  
**Shamshiev Bakytbek Nurikambarovich<sup>2</sup>,**  
*Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Department  
of “Ecology and Environmental Protection”*

**LAND AVALANCHE OF AFFECTED PROCESSES, BIORE CULTURE OF DEGRADED LANDS:  
EARLY EXPERIMENTS AND RESULTS**

<sup>1</sup>*Ошский государственный университет*  
<sup>2</sup>*Ошский технологический университет им. М.М. Адышева, Ош, Кыргызская Республика*

<sup>1</sup>*Ош мамлекеттик университети*  
<sup>2</sup>*М.М.Адышева ат. Ош технологиялык университети, Ош, Кыргыз Республикасы*

<sup>1</sup>*Osh State University*  
<sup>2</sup>*Osh Technological University named after M.M.Adyshev, Osh, Kyrgyz Republic*

**Аннотация.** В статье рассматриваются научные и практические аспекты биорекультивации деградированных земель, пострадавших от оползневых процессов в южных регионах Кыргызстана. Оползни остаются одной из основных геологических угроз, приводящих к потере земельных ресурсов и снижению экологической устойчивости территорий. Представлены результаты полевых исследований и опытных работ по восстановлению нарушенных склонов с использованием агролесомелиорационных и фиторекультивационных технологий. Показано, что комплексное применение древесно-кустарниковых насаждений, травяного покрова и биологических препаратов способствует стабилизации почвенного слоя, увеличению содержания органического вещества и восстановлению биомассы растительности. Обоснована эффективность сочетания инженерных и биологических подходов в повышении устойчивости склоновых экосистем.

**Ключевые слова:** Изменение климата, горные экосистемы, биорекультивация, оползни, деградация земель, агролесомелиорация, восстановление экосистем, Южный Кыргызстан.

**Аннотация.** Макалада Кыргызстандын түштүк региондорундагы жер көчкү процесстеринен жабыркап деградацияланган жерлерди биорекультивациялоонун илимий жана практикалык аспектилери каралат. Жер көчкүлөр жер ресурстарынын жоголушуна жана аймактардын экологиялык туруктуулугунун төмөндөшүнө алып келген негизги геологиялык коркунучтардын бири бойдон калууда. Агротокоймелиорация жана фиторекультивация технологияларын колдонуу менен бузулган эңкейиштерди калыбына келтирүү боюнча талаа изилдөөлөрүнүн жана тажрыйбалуу иштердин жыйынтыктары келтирилген. Дарак-бадал плантацияларын, чөп катмарын жана биологиялык препараттарды комплекстүү колдонуу топурак катмарын турукташтырууга, органикалык заттардын курамын көбөйтүүгө жана өсүмдүктөрдүн биомассасын калыбына келтирүүгө өбөлгө түзөрү көрсөтүлгөн. Жантайыңкы экосистемалардын туруктуулугун жогорулатууда инженердик жана биологиялык ыкмаларды айкалыштыруунун натыйжалуулугу негизделген.

**Ачкыч сөздөр:** Климаттык өзгөрүүлөр, тоолуу экосистемалар, биорекультивация, жер көчкү, жердин деградациясы, агротоккоймелиорация, экосистеманы калыбына келтирүү, Түштүк Кыргызстан.

### Введение

Оползни в Кыргызстане являются одной из наиболее опасных геологических угроз, приводящих к деградации земель, разрушению почвенного и растительного покрова, нарушению экосистемных функций и значительным социально-экономическим последствиям. По данным геомониторинга, в республике насчитывается около 5000 современных оползней, наибольшая концентрация которых наблюдается в Ошской и Джалал-Абадской областях. Из 1914 населённых

пунктов около 600 расположены в зонах повышенной оползневой активности [1].

В апреле 2017 года склон холма, пропитанный тающим снегом и осадками, обрушился недалеко от села Курбу-Таш на юге Кыргызстана. В течение следующих недель медленно текущая река из мелкозернистой почвы текла по долине и затопила десятки домов. 11 мая 2017 года операционный наземный тепловизор (OLI), установленный на спутнике Landsat 8, сделал снимок (справа) оползня. Свежевырытая почва имеет корич-

невый оттенок. Для сравнения, на изображении слева показан тот же район 25 апреля 2017 года (рис.1). По данным Министерства

по чрезвычайным ситуациям Кыргызстана, в результате оползня было перемещено 2,8 миллиона кубических метров (99 миллионов кубических футов) грунта.

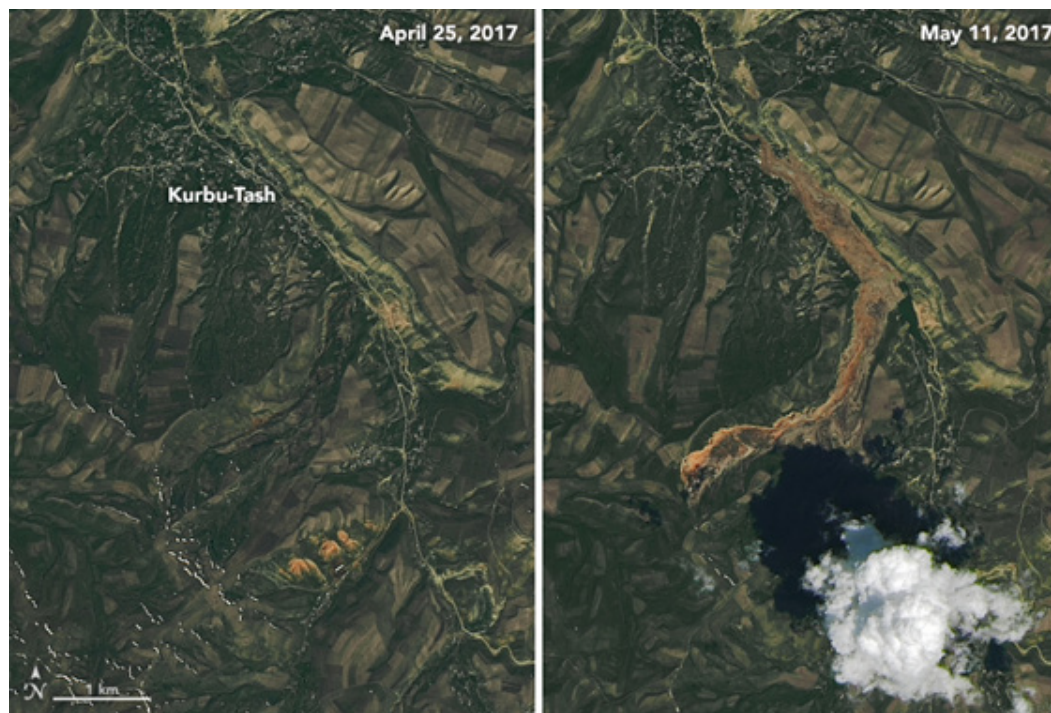


Рис. 1. Район села Курбу-Таш (Узгенский р-н, Ошская обл.) до и после оползня 2017 г. по данным спутника Landsat-8 (25 апреля и 11 мая 2017 г.). Источник: NASA Earth Observatory / USGS.

Восстановление нарушенных земель требует комплексного подхода, объединяющего инженерные, агротехнические и биологические методы. Среди них особое место занимает биорекультивация, направленная на стабилизацию почвенного слоя и восстановление биоразнообразия [4].

Целью настоящего исследования является анализ и оценка эффективности методов биорекультивации деградированных земель, пострадавших от оползневых процессов, на примере экспериментального участка “Курбу-Таш” в Узгенском районе Ошской области.

Задачи исследования включали:

1. Анализ состояния деградированных земель и определение масштабов их нарушения.
2. Выбор оптимальных агролесомелиоративных и биотехнических мероприятий.
3. Оценку результативности фиторекультивационных работ и их влияния на стабилизацию склонов.

*Обзор литературы.* В отечественной и российской литературе биорекультивация рассматривается как завершающий этап восстановления нарушенных земель [4]. Эффективность зависит от подбора устойчивых видов растений и учёта гидрологических особенностей местности [6]. Крюков И. В. (2018) отмечает, что в горных районах России результативными являются фитомелиоративные мероприятия с использованием злаковых и кустарниковых культур, укрепляющих почвенный профиль [7]. Алябьева Г. П. и Чижиков В. А. (2017) подчёркивают роль ризобактерий и микоризных грибов в ускорении формирования гумусового горизонта [8]. Смычагин И. В. (2019) предложил модель сукцессионного восстановления растительности на деградированных склонах Кавказа [9]. Современные исследования показывают, что комбинирование инженерных и биологических методов, вклю-

чая геосинтетические материалы, повышает устойчивость склонов и предотвращает повторные деформации [12, 13]. Опыт Казахстана и Узбекистана демонстрирует эффективность адаптации агролесомелиорации к аридным условиям Центральной Азии [14, 15].

Таким образом, опыт исследователей России и стран СНГ подтверждает эффективность биорекультивации как ключевого направления восстановления деградированных земель. Наибольшие результаты достигаются при комплексном применении фиторекультивации, микробиологических препаратов и инженерных мероприятий, адаптированных к региональным климатическим и геологическим условиям.

#### **Материалы и методы исследований.**

Работы выполнены на деградированном оползневом участке площадью около 100 га, расположенном вблизи села Курбу-Таш,

Узгенского района Ошской области. Исследования проводились в 2018–2024 гг. в рамках проекта ОшГУ «Лес Курбу-Таш» [3]. Участок характеризуется трещиноватостью, пониженной влагоёмкостью и следами эрозии. До начала проекта территория использовалась для выпаса скота.

**Технические мероприятия:** ограждение (100 га), прокладка водопровода 2,6 км, строительство резервуара 43 т, установка капельного орошения на 1,5 га яблоневого сада.

**Биологические мероприятия:** посадка кустарников (*Rosa canina*, *Hippophae rhamnoides*, *Tamarix sp.*) и деревьев (*Salix*, *Populus*, *Acer negundo*, *Fraxinus excelsior*, *Robinia pseudoacacia*, *Ailanthus altissima*, *Juglans regia*, *Pinus sylvestris*, *Juniperus sabina* и др.), восстановление травостоя (*Medicago sativa*, *Glycyrrhiza glabra*, злаковые), внесение органики [5].



Рис. 2. Общий вид оползневого тела и зоны подтопления в районе села Курбу-Таш до начала биорекультивационных работ.

Методы оценки включали анализ содержания органического вещества (метод Тюрина), плотности и видового состава растительности, приживаемости древесных пород и устойчивости почвенного слоя. Результаты ежегодно сравнивались с контрольными участками, не подвергшимися воздействию [4–5].

#### **Организационные мероприятия:**

- Разработка проекта и плана биорекультивации данной территории
- Меморандум и договор с Джалпак-Ташским айыл окмоту и Узгенским лесхозом

- Акции по посадке леса (студенты ОшГУ, представители местной власти, общественные деятели, местное сообщество и гражданские активисты)

#### **Результаты и обсуждение.**

Через 5 лет после начала биорекультивации (2018–2024 гг.) отмечены положительные изменения: — снижение эрозии почвы на 60–65 %; — увеличение содержания органического вещества в среднем на 25 %; — повышение плотности растительного покрова на 40 %; — приживаемость древесно-кустарниковых

пород — 70–85 %. Наблюдается улучшение структуры и влагоёмкости почвы, развитие микробиоты и естественное самовозобновление травостоя.

Созданный древесно-кустарниковый ландшафт выполняет защитные и климатотрегулирующие функции. Применение капельного орошения повысило эффективность водопользования в аридных условиях юга Кыргызстана [12–13].



Рис. 3. Посадка древесно-кустарниковых пород на участке биорекультивации в районе села Курбу-Таш

Полученные результаты соответствуют данным других исследований, проведённых в России, Казахстане и Узбекистане, где аналогичные технологии позволили снизить эрозию на 50–70 % и повысить содержание гумуса на 20–30 % [7, 10, 11, 14, 15].

Это подтверждает применимость метода биорекультивации для условий горных районов Кыргызстана.

**Заключение.** Биорекультивация деградированных земель, подвергшихся оползневому процессам, является эффек-

тивным направлением восстановления экосистем и устойчивого природопользования. Комплексное использование инженерных, агротехнических и биологических методов способствует стабилизации склонов, улучшению структуры почвы и восстановлению биомассы растительности.

Проект «Лес Курбу-Таш» демонстрирует успешную реализацию данной технологии и может служить модельным примером для масштабирования в других оползнеопасных районах Кыргызстана.

#### Список литературы:

1. Аккулов А.У. Оползни как индикатор деградации почвенного покрова. Уральск, 2021.
2. Аккулов А.У., Обдунов Э.А., Эрматова В.Б., Нурмаилова Ж.Т. Инновационные питомники. ОшГУ, 2025.
3. Аккулов А.У. Деградацияланган жерлерди биорекультивациялоодо агро-токой мелиорация иш-аракеттеринин натыйжалуулугу. (Өзгөн районунун Жалпак-Таш айыл өкмөтүндөгү “Курбу-Таш токой” долбоорун аткаруунун мисалында). // Материалы международной научно-практической конференции “Сохранение экосистем Центральной Азии и устойчивое развитие: Принципы, Вызовы, Перспективы”. Известия Национальной академии наук Кыргызской Республики, Бишкек, 2024. №5. Стр.18-28.

4. Морозов А. Е., Залесов С. В., Капралов А. В. Пути рекультивации нарушенных в процессе нефтегазоразведки земель. М.: //Лесной вестник 3/2008. Стр.56.... //Лесной вестник, 2008, № 3, с. 56.
5. Эйтинген Г. Р. Лесоводство. М.: Госиздат с.-х. лит., 1953.
6. Баранов В. Г., Рогова Е. И., Шейхет А. М. Биорекультивация //Геоэкология, 2015, № 4, с. 3–15.
7. Крюков И. В. Биологические методы стабилизации склонов//Вестник геоэкологии, 2018, № 2, с. 45–52.
8. Алябьева Г. П., Чижиков В. А. Ризобактерии и сидераты//Вестник с.-х. науки, 2017, № 5, с. 24–31.
9. Смычагин И. В. Сукцессионное восстановление//Почвоведение, 2019, № 7, с. 875–884.
10. Лысенко Т. А. Эффективность биорекультивации склонов в условиях Алтая. //География и природные ресурсы Сибири, 2021, № 3, с. 55–63.
11. Белюченко И.С.Методы рекультивации нарушенных земель //Экологический вестник Северного Кавказа, том 18,№3, Краснодар.2022. С.4–13. <https://elibrary.ru/item.asp?id=37028504>
12. Алиев И. Н., Воронина В. П., Хамарова З. Х. и др. «Лесная рекультивация техногенно-нарушенных земель в центральной части Северного Кавказа». //Лесное хозяйство: научно-практический журнал, 2022, № 4, стр. 50-57. DOI: 10.34736/FNC.2022.119.4.008.50-57. Ссылка: <https://zhurnal.vfanc.ru/wp-content/uploads/2023/06/8-4-2022.pdf>
13. Зайцев Е.В.,Толстых Н.Е.Достижения в области геосинтетических материалов// Сборник научных статей 4-й Всероссийской .научно-практической конференции молодых ученых. С. 138-141 <https://elibrary.ru/item.asp?id=49189292>
14. Лобойко В.Ф. , Есмагулова Б.Ж., Ткаченко Н.А. Фитоэкологическая оценка и лесомелиоративное картографирование песчаного массива «Кандагаш» Западно-Казахстанской области Республики Казахстан//Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса, № 2 (46), 2017. Стр. 211-218.

УДК 574.3: 502.74

**Аматов Ысабек Козанович**

*канд.биол.наук, доцент кафедры «Экологии и охраны окружающей среды»*

**Култаева Акмарал Кубанычбековна**

*канд. геогр. наук, доцент каф. «Геология полезных ископаемых»*

**Арстанова Айтолкун Адылбековна**

*магистр биологии, препод. кафедры «Экологии и охраны окружающей среды»*

**Матазова Айгерим Бакытовна**

*магистр ЕНО, препод. кафедры «Экологии и охраны окружающей среды»*

### **ЗАЩИТА ЖИВОТНЫХ КАК ФАКТОР УСТОЙЧИВОСТИ ЭКОСИСТЕМ**

**Аматов Ысабек Козанович**

*биол.илим.канд., «Экология жана айлана чөйрөнү коргоо» кафедрасынын доценти*

**Култаева Акмарал Кубанычбековна**

*геогр. илимд.кандидаты, «Пайдалуу кендердин геологиясы» каф. доценти*

**Арстанова Айтолкун Адылбековна**

*Биология магистри, «Экология жана айлана чөйрөнү коргоо» кафедрасынын университетинин окутуучусу*

**Матазова Айгерим Бакытовна**

*ТИБ магистри, «Экология жана айлана чөйрөнү коргоо» кафедрасынын окутуучусу*

### **ЖАНЫБАРЛАРДЫ КОРГОО ЭКОСИСТЕМАНЫН ТУРУКТУУЛУГУНУН ФАКТОРУ КАТАРЫ**

**Amatov Ysabek Kozanovich**

*Candidate of Biology Sciences, Associate Professor of the Department of Ecology and Environmental Protection*

**Kultayeva Akmaral Kubanychbekovna**

*Candidate of Geological Sciences, Associate Professor of the Department of Geology of Minerals*

**Arstanova Aitolkun Adylbekovna**

*Master of Biology, Lecturer of the Department of Ecology and Environmental Protection*

**Matazova Aigerim Bakytovna**

*Master of Science in Natural Sciences Education, Lecturer of the Department of Ecology and Environmental Protection*

### **ANIMAL PROTECTION AS A FACTOR OF ECOSYSTEM SUSTAINABILITY**

*Ошский технологический университет им. М.М. Адышева, Ош, Кыргызская Республика*

*М.М.Адышева атындагы Ош технологиялык университети, Ош, Кыргыз Республикасы*

*Osh Technological University named after M.M.Adyshev, Osh, Kyrgyz Republik*

**Аннотация.** Защита животных рассматривается как ключевой компонент поддержания и повышения устойчивости (резилиенса) экосистем. В статье выполнен обзор современных представлений о механизмах влияния животных на функционирование экосистем (трофические каскады, роль видов-инженеров, опыление/зоохория, биогеохимические циклы), синтез международных рекомендаций и практических подходов к восстановлению популяций и связности местообитаний. В качестве эмпирического примера представлен кейс деятельности НАБУ-Кыргызстан и вклад её программ реабилитации, мониторинга и экообразования в повышение резилиенса горных экосистем. Даны практические рекомендации для интеграции мер охраны животных в ландшафтное планирование и секторальные политики.

**Ключевые слова:** охрана животных, устойчивость экосистем, резилиенс, биоразнообразие, ревайлдинг

**Аннотация.** Бул макалада жаныбарларды коргоо экосистемалардын туруктуулугун (резилиенс) сактоонун жана жогорулатуунун негизги компоненти катары изилденген. Экосистемалардын иштешине жаныбарлардын таасир этүү механизмдери (трофикалык каскаддар, түрлөрдүн-инженерлердин ролу, чаңдашуу/зоохория, биогеохимиялык циклдер) жөнүндө заманбап түшүнүктөргө сереп аткарылып, популяцияларды калыбына келтирүүгө жана жашаган жерлердин туташуусуна карата эл аралык тажрыйбанын негизинде сунуштар жана практикалык ыкмалар синтезделген. Эмпирикалык мисал катары НАБУ-Кыргызстандын ишмердүүлүгүнүн жыйынтыктары жана анын реабилитациялоо, мониторинг жүргүзүү жана экологиялык калыптандыруу программаларынын тоо экосистемаларынын туруктуулугун жогорулатууга кошкон салымы келтирилген. Жаныбарларды коргоо чараларын ландшафттык пландаштырууга жана сектордук саясатка интеграциялоо боюнча практикалык сунуштар берилди.

**Ачкыч сөздөр:** жаныбарларды коргоо; экосистеманын туруктуулугу; резилиенс; био-артүрдүүлүк; ревайлдинг.

**Abstract.** Species protection is considered a key component for maintaining and enhancing ecosystem resilience. This review synthesizes current understanding of mechanisms by which animals affect ecosystem functioning (trophic cascades, ecosystem-engineer species, pollination/seed dispersal, and biogeochemical cycles), integrates international guidance, and discusses practical approaches to population recovery and habitat connectivity. An empirical case of NABU-Kyrgyzstan is presented, illustrating contributions of rehabilitation, monitoring, anti-poaching and environmental education programs to the resilience of mountain ecosystems. The article provides practical recommendations for integrating species protection into landscape planning and sectoral policies.

**Keywords:** species protection; ecosystem resilience; biodiversity; rewilding.

### Введение

Потеря биоразнообразия, деградация местообитаний и антропогенные нагрузки снижают способность экосистем сопротивляться возмущениям.

Цель статьи – синтез доказательств и практик, демонстрирующих, как защита животных повышает резилиенс экосистем, с представлением практических рекомендаций и эмпирическим кейсом по Кыргызстану.

Глобальная оценка биоразнообразия и экосистемных услуг в межправительственном масштабе дает политико-научную основу для аргументации необходимости охраны видов как меры по повышению устойчивости экосистем. Обзор зарубежной литературы по роли животных в поддержании функций экосистем показывает, что в мировой практике особое внимание уделяется трофическим взаимодействиям, видам-инженерам, опылителям и зоохорным распространителям и подходам к восстановлению связности местообитаний [1-4].

Подходы к оценке популяционной устойчивости и методики включения демографии животных в модели резилиенса эко-

систем были систематизированы в работе [2], основные положения которой служат методической основой для выбора метрик мониторинга. Особый интерес вызывают институциональные и ландшафтные подходы к восстановлению функций экосистем и роль сохранения видов в преодолении региональных экологических кризисов [3].

Изучение формальных индикаторов устойчивости и количественные подходы для оценки влияния программ защиты видов на резилиенс могут быть полезными для условий Кыргызстана с богатым животным миром.

### Методы и материалы исследований.

Работа носит обзорно-синтезирующий характер: анализируются рецензируемые статьи, отчёты и руководства (IPBES, IUCN и пр.), проводится качественный синтез механизмов. Для методической части и метрик мониторинга использованы литературные источники [2-4].

В качестве практического примера регулирования взаимодействия животного мира с окружающей средой рассматривается опыт деятельности природоохранной организации НАБУ-Кыргызстан.

**Результаты.** Резилиенс (устойчивость, способность системы восстанавливаться после нарушений) — это ключевой аспект как для экосистем, так и для социальных систем. Защита животных, выходя за рамки просто-

го гуманизма, является мощным катализатором, который через ряд взаимосвязанных механизмов укрепляет общую устойчивость. Исследования показали, что можно различать следующие виды-инженеры резилиенса (рис.1).



Рис.1. Основные факторы устойчивости экосистем, вытекающие от реализации мер по защите животных

### 1. Экологический Резилиенс:

**Сохранение биоразнообразия:** Главный вклад защиты животных в устойчивость окружающей среды — это поддержание биоразнообразия.

**Сохранение функциональности экосистем:** Каждый вид играет свою роль в экосистеме (опыление, распространение семян, контроль популяции вредителей). Защита животных от вымирания (особенно ключевых видов) обеспечивает непрерывность этих процессов. Разнообразная экосистема более устойчива к внешним шокам (например, изменению климата или вспышкам болезней), поскольку потеря одного звена не приводит к коллапсу всей системы.

**Смягчение изменения климата:** Защита диких животных, особенно через сохранение их естественных мест обитания (лесов, болот, океанов), способствует поддержанию углеродного цикла. Здоровые экосистемы

выступают как естественные поглотители углерода, тем самым повышая глобальный экологический резилиенс.

### 2. Социально-этический резилиенс:

**Развитие гуманности:** Механизмы, основанные на этике и общественном сознании, напрямую влияют на социальную устойчивость.

**Укрепление социальных норм:** Активная защита животных способствует формированию в обществе этики заботы и ненасилия. Исследования показывают, что жестокое обращение с животными часто коррелирует с агрессией по отношению к людям. Борьба с жестокостью повышает общий уровень нравственности и эмпатии, что является основой для стабильного и здорового общества.

**Снижение рисков пандемий:** Защита дикой природы и предотвращение незаконной торговли животными снижают вероятность зоонозных заболеваний (передающихся от

животных к человеку). Этот механизм напрямую повышает общественное здравоохранение и, следовательно, социальный резилиенс к биологическим угрозам.

*Развитие коллективного действия:* Движения по защите животных часто служат платформами для гражданского активизма и волонтерства. Совместное решение проблем, связанных с животными (например, стерилизация бездомных животных, спасение диких видов), укрепляет социальные связи и способность сообществ к мобилизации и самоорганизации перед лицом кризисов.

**3. Экономический Резилиенс: Устойчивое использование ресурсов**

Защита животных не противоречит экономическому развитию, а, наоборот, способствует его устойчивости.

*Поддержка Экотуризма:* Сохранение популяций диких животных и их среды обитания является основой для развития экотуризма, который создает рабочие места и обеспечивает стабильный доход для местных сообществ, предлагая устойчивую альтернативу деструктивным практикам.

*Рациональное Землепользование:* Защита животных, особенно сельскохозяйственных, через продвижение гуманных и устойчивых методов животноводства, снижает нагрузку на земельные и водные ресурсы, что критически важно для долгосрочной продовольственной безопасности и экономической стабильности.

Таким образом, проведенный нами синтез ключевых механизмов резилиенса показывает, что защита животных — это не периферийная, а фундаментальная стратегия повышения резилиенса. Сохраняя жизнь и благополучие животных, общество одновременно:

- гарантирует стабильность природных систем (Экологический резилиенс).
- укрепляет гуманистические ценности и социальную структуру (Социальный резилиенс).
- обеспечивает устойчивость экономики и ресурсов (Экономический резилиенс).

В итоге можно констатировать, гуманное отношение к животным трансформируется из этического императива в стратегический инструмент для создания более устойчивого и безопасного будущего для всего мира.

### **Деятельность НАБУ – Кыргызстан: вклад в защиту животных и повышение резилиенса экосистем**

**НАБУ – Кыргызстан** (Филиал Союза охраны природы Германии, NABU) – это одна из ведущих природоохранных неправительственных организаций в Кыргызской Республике. Её деятельность сосредоточена на трёх ключевых направлениях:

**1. Сохранение редких видов и биоразнообразие**

Основная цель — защита исчезающих видов и создание охраняемых природных территорий.

**Снежный барс (Илбирс):** Это один из главных приоритетов. Деятельность включает научный мониторинг популяции (использование фотоловушек, экспедиции), антибраконьерские рейды («Группа Барс») и международное сотрудничество.

**Реабилитация диких животных:** Организация управляет Центром экологического образования и реабилитации диких животных «Илбирс» (на Иссык-Куле и новый центр в Чуйской области), где раненые и конфискованные животные проходят лечение и подготовку к возвращению в дикую природу.

**Реинтродукция видов:** НАБУ участвует в проектах по восстановлению популяций, таких как джейран (зобастая газель), который ранее исчез на территории Кыргызстана.

**2. Экологическое Образование и Устойчивое Развитие**

Деятельность направлена на повышение экологической осведомленности и внедрение устойчивых практик.

**Экообразование:** Проведение акций, открытых уроков и экспедиций для школьников, студентов и населения в целях распространения знаний о природе и важности ее охраны.

**Поддержка устойчивого развития:** Реализация проектов, направленных на сохранение экосистем Северного Тянь-Шаня и орехоплодовых лесов, которые включают разработку рекомендаций по устойчивому туризму и рациональному управлению пастбищами.

**3. Развитие ООПТ и Мониторинг**

НАБУ оказывает содействие в развитии системы особо охраняемых природных территорий (ООПТ) и проводит научные исследования.

Повышение потенциала ООПТ: Поддержка природных парков (например, «Чон-Кемин») в разработке планов управления и внедрении систем мониторинга биоразнообразия.

Научно-исследовательская работа: Регулярные экспедиции и исследования для оценки состояния дикой природы.

НАБУ-Кыргызстан реализует проекты по мониторингу снежного барса, реабилитации диких животных, противодействию браконьерству и экологическому просвещению. В 2022 г. открыт Центр реабилитации в урочище Суулуу-Терек Чуйской области [5]. С 2023-

года функционирует южное отделение филиала НАБУ-Кыргызстан. Деятельность организации способствует стабилизации популяций, снижению антропогенного давления и укреплению социально-экологических связей, что на практике повышает резилиенс ландшафтов. Одним из действенных мер по защите животных является повышение экологической образованности населения. С целью повышения эффективности экологического образования регулярно проводились опросы среди населения, где они выражали свои мнения о том как можно защитить животный мир (рис.2).



Рис.2. Диаграмма, отражающая степень участия различных категорий населения в разработке программ экологического образования.

**Обсуждение результатов.** Интеграция мер охраны животных в ландшафтное планирование и секторные политики (сельское хозяйство, водопользование, градостроительство) повышает общую устойчивость систем. Рекомендуется приоритетизация видов-инженеров и создание сети охраняемых территорий в Кыргызстане с учётом связности.

#### **Выводы и рекомендации:**

1. Охрана ключевых видов биоразнообразия

#### **Список литературы:**

1. IPBES. Глобальная оценка биоразнообразия и экосистемных услуг. Резюме для лиц, принимающих решения. 2019. URL: [https://files.ipbes.net/ipbes-web-prod-public-files/inline/files/ipbes\\_global\\_assessment\\_report\\_summary\\_for\\_policymakers.pdf](https://files.ipbes.net/ipbes-web-prod-public-files/inline/files/ipbes_global_assessment_report_summary_for_policymakers.pdf) (дата обращения: 12.10.2025).
2. Полоз С.В., Стрельчаченя И.И. Устойчивость животных в устойчивости экосистем (обзор). 2021. «Экология и животный мир», 2021;(1):8-15. DOI: 10.47612/2224-1647-2021-1-... (дата обращения: 12.10.2025).

бразия должна быть элементом стратегий по повышению резилиенса экосистем.

2. Расширить финансирование создания и поддержки сети охраняемых территорий, учитывая коридоры миграции.

3. Включать программы реабилитации и возвращения видов в оперативное управление популяциями.

4. Нарастивать системный мониторинг и долгосрочные исследования для оценки эффективности мер по защите животных.

3. Бродский А.К., Сафронова Д.В. Биоразнообразие в преодолении современного экологического кризиса. CyberLeninka, 2017. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/bioraznoobrazie-v-preodolenii-sovremennogo-ekologicheskogo-krizisa-issledovanie-ekosistemnogo-i-antropotsentrichnogo-podhodov-v> (дата обращения: 12.10.2025).

4. Светлосанов В.А. Устойчивость экосистем. Учебно-методический материал (PDF). URL: <https://cawater-info.net/library/rus/svetlosanov.pdf> (дата обращения: 12.10.2025).

5. NABU-Кыргызстан. Открытие Центра реабилитации диких животных и экологического образования (урочище Суулуу-Терек). 10.03.2022. URL: <https://nabu.kg/2022/03/10/otkrytie-novogo-centra-reabilitatsii/> (дата обращения: 12.10.2025).

УДК 622.271.2: 005.334

**Караева Зулпия Урматовна<sup>1</sup>,**  
*магистр экономики, науч. сотр. лаборатории «Природный камень и техногенное сырье»*  
**Акылбек кызы Динара<sup>1</sup>,**  
*аспирант лаборатории «Природный камень и техногенное сырье»*  
**Токтобекова Гулжан Шералиевна<sup>2</sup>,**  
*преподаватель*

**Убайдилла уулу Бектур<sup>2</sup>,**  
*преподаватель*

**ОБОСНОВАНИЕ КРИТЕРИЕВ И МЕТОДОВ ОЦЕНКИ РИСКА  
ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОЕКТОВ ПО ДОБЫЧЕ ПРИРОДНОГО КАМНЯ**

**Караева Зулпия Урматовна<sup>1</sup>,**  
*экономика магистри, «Жаратылыш ташы жана техногендык сырье» лабораториясынын илимий кызматкери*  
**Акылбек кызы Динара<sup>1</sup>,**  
*«Жаратылыш ташы жана техногендык сырье» лабораториясынын аспиранты*  
**Токтомурадова Гулжан Шералиевна<sup>2</sup>,**  
*окутуучу*  
**Убайдилла уулу Бектур<sup>2</sup>,**  
*окутуучу*

**ТАБИГЫЙ ТАШ КАЗЫП АЛУУ БОЮНЧА ДОЛБООРЛОРДУ ИШКЕ АШЫРУУДАГЫ  
ТОБОКЕЛДИКТЕРДИ БААЛОО ЫКМАЛАРЫН ЖАНА КРИТЕРИЙЛЕРИН НЕГИЗДӨӨ**

**Karaeva Zulpiya Urmatovna<sup>1</sup>,**  
*Master of Economics, Researcher at the laboratory "Natural Stone and Man-made Raw Materials"*  
**Akylbek kyzy Dinara<sup>1</sup>,**  
*Postgraduate student at the laboratory "Natural Stone and Man-made Raw Materials"*  
**Toktobekova Gulzhan Sheralievna<sup>2</sup>,**  
*lecturer*  
**Ubaidilla uulu Bektur<sup>2</sup>,**  
*lecturer*

**SUBSTANTIATION OF CRITERIA AND METHODS OF RISK ASSESSMENT  
IN THE IMPLEMENTATION OF NATURAL STONE MINING PROJECTS**

<sup>1</sup>*Институт природных ресурсов им. А.С. Джаманбаева ЮО НАН КР ПКР,  
Ош, Кыргызская Республика*

<sup>2</sup>*Ошский технологический университет им. М.М. Адышева,  
Ош, Кыргызская Республика*

<sup>1</sup>*КРП КР УИА ТБ А.С. Джаманбаев ат. Жаратылыш байлыктары институту,  
Ош, Кыргыз Республикасы*

<sup>2</sup>*М.М.Адышева ат. Ош технологиялык университети, Ош, Кыргыз Республикасы*

<sup>1</sup>*Institute of Natural resources named after A.S. Dzhamanbayev SB NAS KR PKR,  
Osh, Kyrgyzstan*

<sup>2</sup>*Osh Technological University named after M.M.Adyshev,  
Osh, Kyrgyz Republik*

**Аннотация.** В статье рассматриваются перспективы и риски освоения месторождений природного камня в Кыргызской Республике. Акцент сделан на необходимости комплексного подхода к оценке рисков, основанного на совмещении экономических, экологических, социальных и технологических критериев. Предложена адаптированная методика анализа, учитывающая особенности горных регионов Кыргызстана — сейсмичность, труднодоступность и экологическую уязвимость. На примере трёх месторождений (Шахдарское, Турукское, Булюлю) проведена сравнительная оценка перспективности освоения. Результаты показали, что наименее рискованым и наиболее перспективным является Шахдарское месторождение, тогда как Булюлю обладает высоким совокупным риском. Разработанный методический подход может быть использован в стратегическом планировании, инвестиционном анализе и при разработке государственных программ в сфере недропользования.

**Ключевые слова:** горнодобывающая промышленность, природный камень, оценка риска, минерально-сырьевая база, экологическая безопасность, инвестиционная привлекательность, месторождения, комплексный анализ, устойчивое развитие.

**Аннотация.** Макалада Кыргыз Республикасында табигый таш кендерин өздөштүрүүнүн келечеги жана тобокелдиктери каралган. Экономикалык, экологиялык, социалдык жана технологиялык критерийлерди айкалыштырууга негизделген тобокелдиктерди баалоого комплекстүү мамиле жасоонун зарылдыгына басым жасалды. Кыргызстандын тоолуу аймактарынын өзгөчөлүктөрүн — сейсмикалуулугун, жетүүгө кыйындыгын жана экологиялык аярлуулугун эске алган анализдин адаптацияланган методикасы сунушталган. Үч кендин мисалында (Шахдар, Турук, Булюлю) өздөштүрүүнүн перспективасына салыштырмалуу баалоо жүргүзүлгөн. Жыйынтыгы көрсөткөндөй, эң аз тобокелдүү жана эң келечектүү Шахдар кени болуп саналат, ал эми Булюлю жогорку жалпы тобокелдикке ээ. Иштелип чыккан методикалык ыкма стратегиялык пландоодо, инвестициялык талдоодо жана жер казынасын пайдалануу чөйрөсүндө мамлекеттик программаларды иштеп чыгууда колдонулушу мүмкүн.

**Негизги сөздөр:** тоо-кен, табигый таш, тобокелдиктерди баалоо, минералдык-чийки зат базасы, экологиялык коопсуздук, инвестициялык жагымдуулук, кен чыккан жерлер, комплекстүү талдоо, туруктуу өнүгүү.

**Abstract.** This paper examines the prospects and risks associated with the development of natural stone deposits in the Kyrgyz Republic. Emphasis is placed on the need for an integrated risk assessment approach that combines economic, environmental, social, and technological criteria. A methodology adapted to the specific conditions of mountainous regions in Kyrgyzstan—such as seismic activity, limited accessibility, and environmental vulnerability—is proposed. A comparative analysis was conducted on three deposits (Shakhdar, Turuk, and Bulyuly), each differing in geological conditions and development potential. The results indicate that the Shakhdar deposit is the most promising due to its favorable physical properties and low overall risk. In contrast, the Bulyuly site is considered high-risk with limited economic feasibility. The proposed evaluation system can serve as a methodological basis for government programs, investment planning, and sustainable resource management in the mining sector of the Kyrgyz Republic.

**Keywords:** mining industry, natural stone, risk assessment, mineral resource base, environmental safety, investment attractiveness, deposits, integrated analysis, sustainable development

### Введение

Развитие горнодобывающей промышленности в Кыргызской Республике тесно связано с освоением месторождений природного камня, которые представляют значительный экономический и стратегический потенциал. Каменные материалы широко применяются в строительстве, дорожной от-

расли и декоративно-отделочных работах, а также обладают экспортной перспективой. В условиях растущего спроса на строительное сырьё как внутри страны, так и за её пределами, вопрос комплексной и рациональной разработки месторождений природного камня приобретает особую актуальность.

Вместе с тем реализация проектов по

добыче природного камня сопряжена с определёнными рисками. Они проявляются в экономической неустойчивости рынков, экологических ограничениях, социально-правовых конфликтах и технологических сложностях эксплуатации. В условиях горной территории Кыргызстана данные риски могут усиливаться факторами сейсмической активности, ограниченной транспортной доступности и хрупкости природных экосистем.

В мировой практике разработаны различные подходы к анализу и минимизации подобных рисков, однако их применение в условиях Кыргызской Республики требует адаптации с учётом национальной специфики и региональных особенностей. В связи с этим актуальным становится обоснование научно-практических критериев и методов оценки риска, позволяющих повысить эффективность освоения минерально-сырьевой базы страны и минимизировать негативные последствия.

Цель данного исследования заключается в оценке перспектив и рисков освоения месторождений природного камня в Кыргызской Республике и в разработке обоснованных критериев и методических подходов к их анализу.

Методологической основой оценки устойчивости горных проектов служат интегральные индикаторные рамки, предложенные в классической работе А. Azapagic, где систематизированы экономические, экологические и социальные показатели для горнодобывающей отрасли [1]. Существенным дополнением к ним выступает блок социальной оценки воздействия: сравнительный анализ индикаторных систем, зарубежный опыт демонстрирует устойчивые группы метрик (права и безопасность трудящихся, землепользование, вовлечение сообществ и распределение выгод) и их применимость при планировании и мониторинге горных проектов [2].

Для Кыргызской Республики отраслевой фон характеризуется наличием разнообразной сырьевой базы природного камня и действующих перерабатывающих мощностей; специализированные обзоры описывают типы месторождений, ассортимент продукции и рыночные ниши, что задаёт исходные

условия для выбора критериев качества и логистики при обосновании проектов освоения [3]. Одновременно национальная повестка фиксирует институциональные и регуляторные риски горнодобывающего сектора, влияющие на предсказуемость реализации проектов и инвестиционную привлекательность отрасли [4], а также долгосрочные структурные вызовы развития (инфраструктурные ограничения, технологические и кадровые дефициты), требующие учёта в риск-ориентированном планировании [5].

В последние годы широкое распространение получил *риск-ориентированный подход* к промышленной безопасности горных предприятий, предполагающий выделение «жизненно важных» рисков, приоритетизацию управленческих мер и выбор адекватных методик идентификации опасностей [6]. Дополнительно предложены практические схемы сравнительной оценки методов (матрицы «вероятность–ущерб», Fine–Kinney и др.) с акцентом на специфику горной промышленности, что релевантно и для камнедобывающих карьеров [7].

Для интеграции экономических и риск-ориентированных критериев могут внести пользу анализ рисков для малых и техногенных объектов недропользования, а также оценка экономической эффективности применения колотых каменных изделий в дорожном строительстве в целях формирования технико-экономических показателей и норм качества продукции [8,9].

Несмотря на наличие значительного количества работ, посвящённых вопросам горного права, экономики и экологии добывающей промышленности, именно систематизированный подход к комплексной оценке рисков при освоении месторождений природного камня в условиях Кыргызской Республики остаётся недостаточно разработанным. Это обуславливает необходимость проведения исследований, направленных на уточнение критериев анализа и адаптацию существующих методик к национальной специфике.

**Методы и критерии оценки риска.** Оценка риска при реализации проектов по добыче природного камня должна базироваться на принципах комплексности, системности и адаптивности. Основой методологии

служит совмещение геолого-экономического анализа, экологического нормирования и социально-экономической экспертизы, что

позволяет учитывать не только технические, но и гуманитарные аспекты освоения минерально-сырьевых ресурсов (рис.1).

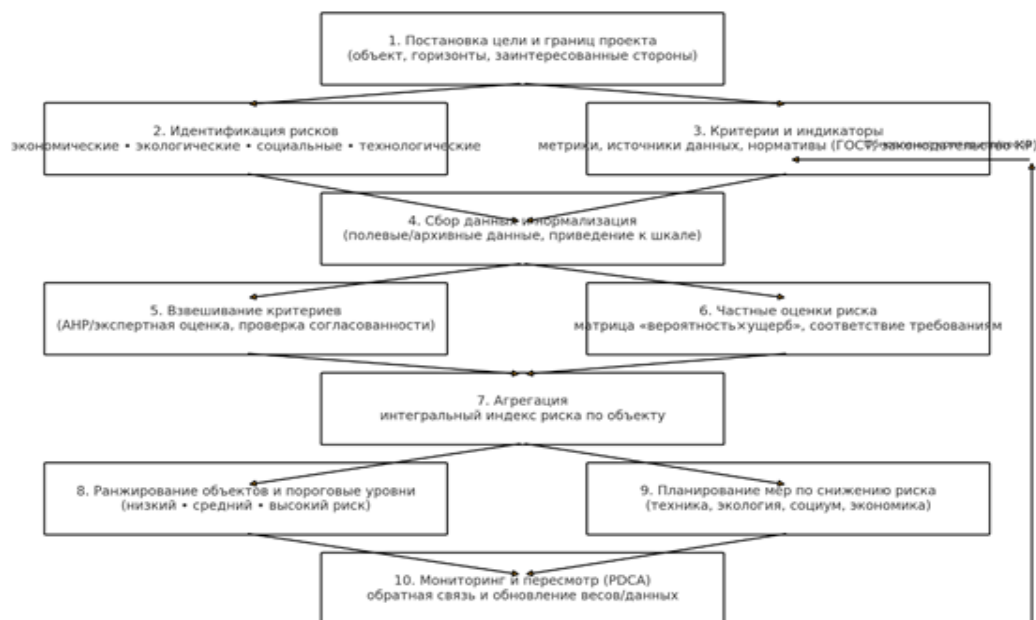


Рис. 1. Принципиальная схема методики оценки рисков при освоении месторождений природного камня

### 1. Экономические критерии включают в себя:

- Себестоимость добычи (включая затраты на вскрышные работы, транспортировку, переработку).
- Рентабельность и срок окупаемости проектов.
- Колебания рыночных цен на строительный и облицовочный камень.
- Инвестиционная привлекательность и доступность кредитных ресурсов.

### 2. Экологические критерии:

- Нарушение земель и ландшафтов (площадь нарушенной территории, сложность рекультивации).
- Воздействие на гидросферу (снижение качества вод, изменение русел рек, заиление).
- Пылевые и шумовые нагрузки в зоне добычи.
- Соответствие национальным и международным экологическим нормативам (ГОСТ, ISO, законодательство КР).

### 3. Социальные критерии:

- Занятость местного населения и уровень вовлечённости в производственный процесс.

- Социальные конфликты (земельные вопросы, интересы местных сообществ, этнические аспекты).

- Уровень промышленной безопасности и охраны труда.

- Социальная инфраструктура (дороги, жильё, медицинские и образовательные учреждения, поддерживаемые проектом).

### 4. Технологические критерии

- Качество природного камня (прочность, морозостойкость, истираемость, декоративные свойства).

- Сложность горно-геологических условий (мощность пластов, трещиноватость, сейсмическая опасность).

- Доступность технологий добычи и обработки.

- Транспортно-логистические факторы (близость к дорогам, железнодорожным узлам, рынкам сбыта).

**Методический подход.** Для оценки указанных критериев целесообразно использовать балльно-рейтинговую систему, где каждому показателю присваивается весовой коэффициент в зависимости от его значимости для конкретного место-

рождения. Суммарный индекс риска позволяет сравнивать различные объекты и определять приоритетность их освоения.

Особенностью предлагаемого подхода является его адаптация к условиям Кыргызской Республики, где сейсмичность, ограниченная транспортная инфраструктура и высокая экологическая уязвимость горных территорий значительно влияют на общий уровень риска.

**Результаты и обсуждение.** Применение предложенной системы критериев и методов оценки риска было осуществлено на примере ряда месторождений природного камня в южных регионах Кыргызской Республики. В качестве объектов анализа рассмотрены недавно открытые Шахдарское, Турукское и Булюлинское месторождения, отличающиеся по геолого-структурным условиям, физико-механическим свойствам камня и перспективам промышленного освоения.

Гранодиорит *Шахдарского месторождения* характеризуется высокой прочностью на сжатие (до 120 МПа), низкой истираемостью и значительной морозостойкостью (более 150 циклов). Экономические показатели указывают на высокую рентабельность при добыче. Экологические риски связаны в основном с нарушением рельефа и необходимостью рекультивации, однако они могут быть минимизированы при применении современных технологий. Суммарный индекс риска оценивается как низкий, что делает месторождение перспективным для освоения.

Гранодиорит *Булюлинского месторождения* имеет относительно низкие физико-механические показатели (прочность 85 МПа, морозостойкость около 100 циклов), что ограничивает сферы его применения. Кроме того, месторождение расположено в труднодоступной горной местности, что повышает транспортные и технологические издержки. Экологические и социальные риски (включая потенциальные конфликты с местным населением) существенно выше, чем у других объектов. Итоговый индекс риска оценивается как высокий, что делает освоение данного месторождения экономически и экологически менее целесообразным.

**Гранодиорит Турукского месторождения** отличается удовлетворительными

характеристиками (прочность 105 МПа, морозостойкость около 130 циклов), что позволяет использовать его в строительстве и дорожных работах. Основным ограничивающим фактором является сравнительно высокая истираемость и необходимость дополнительных затрат на транспортировку. Экономические риски умеренные, экологические — выше, чем на Шахдарском участке. Итоговый индекс риска оценивается как средний, что требует детальной проработки инвестиционной модели.

Сравнение трёх объектов показало, что наибольшие перспективы имеет Шахдарское месторождение, которое сочетает благоприятные физико-механические свойства камня и сравнительно низкий уровень рисков. Турукское месторождение можно рассматривать как условно перспективное при условии оптимизации транспортно-логистических расходов и экологического мониторинга. Булюлю участок в текущих условиях следует отнести к категории низкоприоритетных из-за высокого совокупного риска и ограниченной экономической эффективности.

Таким образом, проведённый анализ подтвердил целесообразность использования комплексной системы критериев при обосновании перспектив освоения природных камней. Она позволяет объективно оценить потенциальные выгоды и возможные угрозы, а также формировать рекомендации для государственных органов, инвесторов и добывающих компаний.

### **Заключение**

Проведенное исследование показало, что рациональное освоение месторождений природного камня в Кыргызской Республике требует применения комплексной системы оценки рисков, включающей экономические, экологические, социальные и технологические критерии. Предложенный методический подход позволяет не только сопоставить различные месторождения по уровню перспективности, но и выявить ключевые факторы, ограничивающие их промышленное освоение.

На примере Шахдарского, Турукского и Булюлинского месторождений установлено, что наиболее привлекательным объектом для разработки является Шахдарское

месторождение, обладающее оптимальным сочетанием прочностных характеристик камня и низкого уровня совокупных рисков. Турукское месторождение может рассматриваться как условно перспективное при учёте транспортных затрат и повышенного экологического контроля. Булюю участок следует отнести к категории высокорисковых объектов с ограниченной экономической целесообразностью освоения.

Таким образом, предложенная система критериев оценки риска может быть рекомендована в качестве методической основы для разработки государственных программ по рациональному использованию минерально-сырьевой базы, а также при подготовке инвестиционных проектов в горнодобывающей отрасли Кыргызской Республики.

#### Список литературы:

1. Azapagic A. Developing a framework for sustainable development indicators for the mining and minerals industry. *Journal of Cleaner Production*. 2004;12(6):639–662. DOI: 10.1016/S0959-6526(03)00075-1.
2. Mancini L., Sala S. Social impact assessment in the mining sector: Review and comparison of indicators frameworks. *Resources Policy*. 2018;57:98–111. DOI: 10.1016/j.resourpol.2018.02.002.
3. Litosonline. Kyrgyzstan's stone resources. URL: <https://www.litosonline.com/en/article/kyrgyzstans-stone-resources> (дата обращения: 04.10.2025).
4. Шаршебаев А.А. О некоторых проблемах горнодобывающей отрасли в Кыргызстане. Современные научные исследования и инновации (электронный ресурс). 2024. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/o-nekotoryh-problemah-gornodobyvayuschey-otrasli-v-kyrgyzstane> (дата обращения: 04.10.2025).
5. Кожогулов К.Ч. Проблемы и перспективы развития горнодобывающей промышленности Кыргызстана. Экономика и социум (электронный ресурс). 2013. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/problemy-i-perspektivy-razvitiya-gornodobyvayuschey-promyshlennosti-kyrgyzstana> (дата обращения: 04.10.2025).
6. Каледина Н.О. Риск-ориентированный подход в обеспечении промышленной безопасности горных предприятий. *Горный информационно-аналитический бюллетень (ГИАБ)*. 2020;№ 6-1:5–14. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-61-0-5-14.
7. Овчинникова Т.И., Потоцкий Е.П., Фирсова В.М. Риск-ориентированный подход при оценке опасностей в горной промышленности. *Горный информационно-аналитический бюллетень (ГИАБ)*. 2021;№ 2-1:199–208. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-21-0-199-208. giab-online.ru
8. Калдыбаев Н.А., Маматов Ж., Акылбек кызы Д., Токтомуратова Г. Анализ рисков в горнодобывающей отрасли и экономические аспекты освоения малых и техногенных месторождений Кыргызской Республики. *Инженер: научное и периодическое издание ИА КР*, 2022, № 25, с. 63–73.
9. Калдыбаев Н.А., Караева З. Оценка экономической эффективности применения колотых изделий из природного камня в дорожном строительстве. *Наука. Образование. Техника*, 2016, № 2(52), с. 70–85.

УДК: 622:004.8:658.15

**Караева Зулпия Урматовна<sup>1</sup>,**  
*магистр экономики, науч. сотр. лаборатории «Природный камень и техногенное сырьё»*

**Калдыбаев Нурланбек Арзымаматович<sup>1</sup>,**  
*канд.техн. наук, ст.научн. сотрудник лаборатории*

*«Природный камень и техногенное сырьё»*

**Маткаликов Абдилазиз Моминович<sup>2</sup>,**

*инженер-электронщик*

### **ЭЛЕКТРОННЫЙ СЕРВИС ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО СМЕТНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ГОРНЫХ РАБОТ В КАМНЕДОБЫВАЮЩИХ КАРЬЕРАХ**

**Караева Зулпия Урматовна<sup>1</sup>,**

*экономика магистри, «Жаратылыш ташы жана техногендик сырьё»*

*лабораториясынын илимий кызматкери*

**Калдыбаев Нурланбек Арзымаматович<sup>1</sup>,**

*«Жаратылыш ташы жана техногендик сырьё» лабораториясынын*

*улук илимий кызматкери, техника илимдеринин кандидаты*

**Маткаликов Абдилазиз Моминович<sup>2</sup>,**

*инженер-электронщик*

### **ТАШ КАЗГАН КАРЬЕРЛЕРДЕГИ ТОО-КЕН ИШТЕРИН АВТОМАТТАШТЫРЫЛГАН СМЕТАЛЫК ПЛАНДОО ҮЧҮН ЭЛЕКТРОНДУК СЕРВИС**

**Karaeva Zulpiya Urmatovna<sup>1</sup>,**

*Master of Economics, Researcher at the laboratory "Natural Stone and Man-made Raw Materials"*

**Kaldybaev Nurlanbek Arzymamatovich<sup>1</sup>,**

*Candidate of Technical Sciences, Senior researcher at the laboratory*

*"Natural Stone and Man-made Raw Materials"*

**Matkalikov Abdilaziz Mominovich<sup>2</sup>,**

*Electronics Engineer*

### **ELECTRONIC SERVICE FOR AUTOMATED COST-EFFECTIVE PLANNING OF MINING OPERATIONS IN STONE-MINING QUARRIES**

<sup>1</sup>*Институт природных ресурсов им. А.С. Джаманбаева ЮО НАН КР ПКР,*

*Ош, Кыргызская Республика*

<sup>2</sup>*Ошский технологический университет им. М.М. Адышева,*

*Ош, Кыргызская Республика*

<sup>1</sup>*КРП КР УИА ТБ А.С. Джаманбаев ат. Жаратылыш байлыктары институту,*

*Ош, Кыргыз Республикасы*

<sup>2</sup>*М.М.Адышева ат. Ош технологиялык университети, Ош, Кыргыз Республикасы*

<sup>1</sup>*Institute of Natural resources named after A.S. Dzhamanbayev SB NAS KR PKR,*

*Osh, Kyrgyzstan*

<sup>2</sup>*Osh Technological University named after M.M. Adyshev,*

*Osh, Kyrgyz Republik*

**Аннотация.** В работе рассмотрены вопросы разработки и валидации электронного сервиса для автоматизированного расчёта смет в горнодобывающих проектах с учётом типа техники, производительности, затрат на топливо, обслуживание и аренду. Предложена архитектура сервиса, реализованы модули импорта данных, параметрического расчёта и генера-

ции отчётов. По сравнению с традиционными методами, подход снижает трудоёмкость сметно-бюджетных операций, уменьшает вероятность ошибок и повышает прозрачность затрат. Обоснование актуальности основано на трендах цифровизации в горной промышленности, а методическая база — на языковых и алгоритмических инструментах Python/ML.

**Ключевые слова:** горные работы, сметное планирование, цифровой сервис, автоматизация расчётов, производительность, искусственный интеллект.

**Аннотация.** Макалада тоо-кен долбоорлорунда смета түзүүнү автоматташтырган электрондук сервис түзүү жана анын мүмкүнчүлүктөрүн сүрөттөп баалоо маселелери каралган. Сервиске маалыматтарды импорттоо, параметрдик эсептөөлөр жана отчет түзүү модулдары киргизилген. Салттуу ыкмаларга салыштырмалуу убакытты кыскартат, каталардын мүмкүнчүлүгүн азайтат жана чыгымдардын ачыктыгын жогорулатат. Сервис тармактагы санариптештирүү тенденциялары менен негизделген, методикалык негиз катары Python ML программасы колдонулган.

**Ачык сөздөр:** тоо-кен иштери, смета, санарип сервис, автоматташтыруу, өндүрүмдүүлүк, жасалма интеллект.

**Abstract.** To develop and describe an electronic service for automated cost estimation in mining projects accounting for equipment types, productivity, fuel, maintenance and rental costs. We propose a modular architecture with data import, parameterized computation, and report generation. Compared to manual workflows, the approach reduces time, minimizes errors, and increases cost transparency. The rationale builds on ongoing digitalization trends in mining and on Python/ML methodology.

**Keywords:** mining operations, cost estimation, digital service, automation, equipment productivity, artificial intelligence.

## Введение

Горнодобывающие предприятия сталкиваются с высокой вариативностью производственных параметров и сложностью учёта затрат, что приводит к затяжным сметным циклам и ошибкам ручного ввода. Ускорение и стандартизация сметно-бюджетных процедур является ключевым направлением цифровой трансформации отрасли [1]. В качестве технологической основы сервиса часто используется язык Python, обеспечивающий сбалансированное сочетание зрелой экосистемы, читабельности и богатой стандартной библиотеки [2]; интеллектуальные компоненты опираются на проверенные подходы ИИ и машинного обучения [3–6].

Горнодобывающие предприятия сталкиваются с высокой вариативностью производственных параметров и сложностью учёта затрат, что приводит к затяжным сметным циклам и ошибкам ручного ввода. Ускорение и стандартизация сметно-бюджетных процедур является ключевым направлением цифровой трансформации отрасли. Необходим программный инструмент, который учитывает специфику горных работ (парки экскаваторов и самосвалов, буровых установок, режимы эксплуатации, ТО и ГСМ), обеспечи-

вает воспроизводимость расчётов и формирует стандартизированные отчёты.

Крупные корпоративные системы управления проектами (например, Oracle Primavera, SAP S/4HANA for Mining) предоставляют мощный функционал планирования, но требуют существенных ресурсов на внедрение и зачастую переизбыточны для локальных задач сметного ценообразования. Узкоспециализированные калькуляторы смет автоматизируют расчёты, но редко адаптированы под специфику горных работ и локальные нормативы.

Теоретическая рамка для построения «умных» сервисов задаётся классическими работами по ИИ (агентные модели, поиск, планирование, вероятностные методы) [5] и современными подходами глубокого обучения [6]. Для практической реализации аналитических блоков применимы руководства по машинному обучению на Python (scikit-learn, Keras, TensorFlow), где детально описаны этапы подготовки данных, обучение и оценка моделей [3, 4]. В прикладной части разработки серверной логики и интеграции алгоритмов важны идиоматические практики языка и стандартной библиотеки Python [2]. В региональном контексте под-

тверждена успешность внедрения цифровых технологий и формирование компетенций, что важно для тиражирования подобных решений [7].

Актуальность работы определяется тем, что сметно-бюджетные процедуры в горных работах до сих пор во многом опираются на ручную обработку данных, что ведёт к задержкам, ошибкам и снижению прозрачности затрат; при этом цифровизация горнопромышленного комплекса признаётся ключевым драйвером роста эффективности и управляемости издержек. Зрелость экосистемы Python и методической базы машинного обучения/ИИ (scikit-learn, Keras, TensorFlow; классические и современные подходы к построению интеллектуальных систем) создаёт технологические предпосылки для автоматизации расчётов и воспроизводимой аналитики.

**Цель исследования** — разработать и описательно валидировать электронный сервис для автоматизированного сметного планирования горных работ в камнедобывающих карьерах, обеспечивающий параметрический расчёт эксплуатационных затрат по типам техники, стандартизацию смет и формирование отчётности, что в сумме должно сократить трудоёмкость, снизить вероятность ошибок и повысить прозрачность затрат.

**Материалы и методы.** Используемые данные: паспортные характеристики техники (тип, ёмкость, мощность), нормы расхода топлива, ставки аренды/амортизации, регламенты ТО, тарифы труда.

**Архитектура сервиса.** (1) импорт и валидация (CSV/Excel; контроль диапазонов и обязательных полей); (2) параметрический движок расчётов (почасовые/сменные/месячные стоимостные показатели по шаблонам «добыча», «бурение», «транспорт»); (3) конфигуратор работ (сборка сметы из операций, локальная калибровка коэффициентов: условия карьера, высотность, климат); (4) отчётность (генерация детализированных смет, разбиение по статьям затрат, экспорт DOCX/PDF). **Алгоритмическая база.** Для реализации логики, структур данных и I/O используем

практики из [2]; блоки предобработки и прогнозирования производительности/затрат строятся на основе рецептов и пайплайнов ML [3, 4], с возможностью применения методов классического ИИ и DL при решении задач оптимизации и предсказания [5, 6].

*Реализация и функциональные возможности*

- Импорт данных о техниках/ресурсах из внешних источников (табличные форматы).

- Автоматический расчёт топлива, аренды, обслуживания, производительности с учётом введённых параметров.

- Гибкая настройка видов работ, корректировки по проектам (коэффициенты, условия эксплуатации).

- Генерация отчётов для внутренней отчётности и согласований. Реализация серверной части и конвейеров обработки данных следует идиоматике и библиотечным практикам Python [2], а аналитические шаги — прикладным руководствам по ML [3, 4].

*Сравнительный анализ*

Для позиционирования сервиса относительно распространённых подходов сметного планирования можно отметить, что предложенное решение ориентировано именно на специфику горных работ, что соответствует курсу на отраслевую цифровизацию. Узкоспециализированный фокус и низкий порог внедрения позволяют быстрее адаптировать сервис под локальные нормативы и данные, чем универсальные комплексные платформы.

**Результаты пилотной апробации.** В демонстрационных сценариях подготовка типовой сметы по добычно-транспортному циклу сократилась по времени по сравнению с ручным процессом; пользователи отметили снижение ошибок за счёт исключения повторного ввода и стандартизации формул расчёта. Числовые показатели будут добавлены после прогонов на реальных данных организаций-партнёров.

На рисунке 1 приведены результаты расчёта годовой производительности карьера, добывающего известняк-ракушечник на месторождении “Сары-Таш”, выполненные с помощью разработанного электронного сервиса.

№ п.п.	Наименование затраты	Затраты на проектируемый объем продукции-5 тыс. м3, на год -тыс. сом	На 1 м3 продукции, сом
1	Заработная плата	3609,0	360,9
2	Отчисление на социальное страхование (21% от заработной платы )	685,71	68,571
3	Транспортно-заготовительные и монтажные работы	8250,1	825,01
4	Амортизационные отчисления	4519,8	451,98
5	Электроэнергия	134,9	13,49
6	Материалы и инструмент	1057,421	105,74
7	ГСМ и дизтопливо	1956,76	195,67
8	Ремонтный фонд (50% от амортиз.отч.)	2259,9	225,99
9	Рекультивация земель	431,58	43,16
10	Текущий ремонт внешних автодорог (Куршаб-Туз-Бель) в связи с оползнеопасностью	50,0	5,0
14	Производственная себестоимость продукции	23001,461	2300,146
15	Внепроизводственные расходы на реализацию продукции (2 % от суммы реализации)	468,64	46,84
16	Другие непредвиденные расходы (10%)	2300,146	230,0146
17	Полная годовая себестоимость продукции	25820,247	2582,0247
18	Налоги за использование недр : -Бонус (согласно тарифу) -Роялти (12 % от объема реализации)	3149,32	314,932
20	Оптовая цена товарного блока	53350,0	5335,0
21	Производственная прибыль	27529,753	
22	Налог на прибыль (10%)	2752,9753	
23	Чистая прибыль после уплаты налога	24776,7777	

Рис.1. Результаты автоматизированного расчета проектируемой годовой производительности карьера по добыче известняка-ракушечника

Автоматизированный сервис для расчетов работает в следующей последовательности.

- **Ввод данных:**

Пользователь или система (например, CRM) предоставляет исходные данные для расчета.

- **Обработка:**

Сервис анализирует введенную информацию и применяет к ней встроенные алгоритмы и формулы. Это может включать сложные вычисления, формирование отчетов или другие операции.

- **Результат:**

Программа предоставляет пользователю готовый результат в виде числа, отчета или другого наглядного формата.

**Обсуждение.** Полученные эффекты (сокращение трудозатрат, снижение ошибок учёта, рост прозрачности затрат) согласуются с оценками влияния цифровизации на эффективность горных предприятий [1].

Критически важным фактором выступает кадровая готовность и образовательная экосистема, что подтверждается локальными практиками внедрения цифровых технологий [7]. Для повышения точности прогнозов в дальнейшем планируется расширение использования методов ИИ/ML, в том числе продвинутых моделей глубокого обучения и вероятностных подходов [5, 6], а также наращивание библиотек признаков и интеграций с источниками телеметрии.

### Заключение

Предложенный электронный сервис демонстрирует практическую применимость для ускорения и стандартизации сметно-бюджетных расчётов в горных работах. Методическая опора на Python/ML и соответствие трендам цифровизации создают предпосылки для масштабирования и адаптации под локальные условия, учитывая имеющиеся образовательные и организационные практики.

### 1. Список литературы:

2. Каленов О.Е. Цифровизация в горной промышленности // Вестник РЭУ им. Г.В. Плеханова. 2021. Т. 18, № 5 (119). С. 185–192. <https://doi.org/10.21686/2413-2829-2021-5-184-192>
3. Лутц М. Изучаем Python. Том 1. 5-е изд. СПб.: Диалектика, 2019–2020. 832 с. ISBN 978-5-907144-52-1.
4. Жерон О. Прикладное машинное обучение с помощью Scikit-Learn, Keras и TensorFlow. 2-е изд. (рус. пер.). М.: (издательство по русскому изданию), 2020–2022.

5. Элбон К., Галлатин К. Машинное обучение с использованием Python. Сборник рецептов. 2-е изд. (рус. пер.). АЛИСТ, 2024. 448 с. ISBN 9786010841192.
6. Рассел С., Норвиг П. Искусственный интеллект: современный подход (рус. изд., в т.ч. 4-е изд., т. 1). М.: Вильямс / др. изд., 2020–2022.
7. Гудфеллоу Я., Бенджио И., Курвилль А. Глубокое обучение (рус. пер.). М.: ДМК Пресс, 2017–2018. 652 с. ISBN 978-5-97060-618-6.
8. Калдыбаев Н.А., Култаева Д.Ч., Маматкасымова А.Т., Эгембаева А.А. Использование цифровых технологий в реализации образовательной программы дополнительного обучения «Жаш жаратмандар» // Известия Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова. 2021. № 3 (59). С. 65–70.

УДК 622.271:662.74

**Мамасаидов Мухаммеджан Ташалиевич,**  
*академик НАН КР ПКР, доктор технических наук, профессор*  
**Исаев Ильязбек Эркинбаевич,**  
*кандидат технических наук, доцент*

### **К ТЕОРИИ ПРОИЗВОДСТВА КОЛОТЫХ ИЗДЕЛИЙ ИЗ КАМНЯ: ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ, РЕКОМЕНДУЕМЫЕ МОДЕЛИ И СТРАТЕГИИ РАЗВИТИЯ**

**Мамасаидов Мухаммеджан Ташалиевич,**  
*КРП КР УИА академиги, техника илимдеринин доктору, профессор*  
**Исаев Ильязбек Эркинбаевич,**  
*техника илимдеринин кандидаты, доцент*

### **ТАШТАН ЖАРЫЛГАН БУЮМДАРДЫ ӨНДҮРҮҮ ТЕОРИЯСЫ: НЕГИЗГИ ПРИНЦИПТЕР, ӨНҮКТҮРҮҮНҮН СУНУШТАЛГАН МОДЕЛДЕРИ ЖАНА СТРАТЕГИЯЛАРЫ**

**Mamasaidov Muhammadjan Tashalievich,**  
*Academician of the NAS KR PKR, Doctor of Technical Sciences, Professor*  
**Isayev Ilyazbek Erkinbaevich,**  
*Candidate of Technical Sciences, Associate Professor*

### **THEORY OF PRODUCTION OF SPLIT STONE PRODUCTS: BASIC PRINCIPLES, RECOMMENDED DEVELOPMENT MODELS AND STRATEGIES**

*Кыргызско-Узбекский международный университет им. Б. Сыдыкова,  
кафедра «Механика, энергетика и дизайн», Ош, Кыргызская Республика*

*Б. Сыдыков ат. Кыргыз-Өзбек Эл аралык университети,  
«Механика, энергетика жана дизайн» кафедрасы, Ош, Кыргыз Республикасы*

*Kyrgyz-Uzbek International University named after B.Sydykova,  
Department of "Mechanics, Energy and Design", Osh, Kyrgyz Republik*

**Аннотация.** В статье рассматриваются современные технологии производства колотых дорожных изделий из природного камня, их эксплуатационные характеристики и перспективы применения. Представлены характеристики различных пород камня, рассмотрены основные принципы и ограничения, связанные с их использованием. Особое внимание уделено автоматизации процессов, внедрению инновационных технологий и разработке обобщённых моделей управления производством. Представлены графические данные, иллюстрирующие зависимость эффективности и себестоимости от объёмов производства. Статья подчёркивает важность экологических аспектов и устойчивости развития камнедобывающей отрасли.

**Ключевые слова:** Теория производства, колотые изделия из камня, основные принципы, стратегии развития, обработка камня, производственные процессы, моделирование, оптимизация ресурсов.

**Аннотация.** Макалада табигый таштан жасалган жол буюмдарынын жарылуу өндүрүшүнүн заманбап технологиялары, алардын эксплуатациялык мүнөздөмөлөрү жана колдонуу перспективалары каралат. Ар кандай таш түрлөрүнүн мүнөздөмөлөрү берилген жана аларды колдонуу менен байланышкан негизги принциптери жана чектөөлөр талкууланат. Процесстерди автоматташтырууга, инновациялык технологияларды ишке киргизүүгө, өндүрүштү башкаруунун жалпыланган моделдерин иштеп чыгууга өзгөчө көңүл бурулган.

Графикалык маалыматтар өндүрүш көлөмүнүн функциясы катары эффективдүүлүк менен нарктын ортосундагы байланышты чагылдырган. Макалада таш казып алуу тармагында экологиялык аспектилердин жана туруктуулуктун маанилүүлүгү баса белгиленет.

**Ачкыч сөздөр:** Өндүрүш теориясы, таштан жасалган буюмдар, негизги принциптер, өнүктүрүү стратегиялары, ташты кайра иштетүү, өндүрүш процесстери, моделдөө, ресурстук оптималдаштыруу.

**Annotation.** The article examines modern technologies for the production of fractured road products from natural stone, their operational characteristics, and usage prospects. An analysis is provided on the advantages of various types of stone, such as granite, basalt, limestone, and sandstone, as well as the risks and limitations associated with their use. Special attention is paid to the automation of processes, the introduction of innovative technologies, and the development of generalized production management models. Graphic data is presented illustrating the relationship between efficiency and cost as a function of production volume. The article emphasizes the importance of environmental aspects and sustainability in the stone mining industry.

**Keywords:** Production theory, split stone products, basic principles, development strategies, stone processing, production processes, modeling, resource optimization.

Природный камень издавна используется в дорожном строительстве, благодаря своей прочности, долговечности и эстетической привлекательности. В последние годы всеобщий технологический подъем позволило развить и процессы обработки камня путем раскола (расщепления), сделать их более эффективными, экологичными и перспективными. Применении колотых изделий из камня в строительстве дорожной инфраструктуры увеличивается [1,2,3,4,7].

Основными породами, применяемые в дорожном строительстве, является гранит, базальт, песчаник, известняк и сланец. Каждый из этих природных камней обладает уникальными свойствами:

*гранит* – обладает высокой прочностью, износостойкостью и устойчивостью к химическим воздействиям, из-за чего широко используется в строительстве различных сооружений и производстве дорожной брусчатки;

*базальт* – весьма прочен, износостойкий, обладает хорошими тепло- и звукоизоляционными свойствами, что обуславливает его использование эффективным в строительстве и производства дорожной брусчатки, а также при создании теплоизоляционных материалов;

*песчаник* - обломочная осадочная горная порода, состоящая из песчинок размером до 2 мм скрепленных минеральными веществами и обширно применяется в строительстве и отделке фасадов, благодаря своей доста-

точной прочности и высокой декоративности;

*известняк* – это осадочная порода, представляющая собой пористый камень различной плотности и оттенка с обилием в составе кальцитов (известковых шпатов). В процессе генезиса в него также входят другие минералы, которые снижают его пористость и повышают прочность;

*сланец* - метаморфическая горная порода с характерной слоистой структурой, которая легко расслаивается на тонкие пластины и как следствие, широко используется в строительстве для облицовки фасадов, устройства кровель (натуральный шифер), напольных покрытий, мощения дорожек, а также в ландшафтном дизайне.

К тому же природные камни обладают всеобщими преимуществами:

- устойчивостью к воздействию влаги, химических веществ и перепадам температур;
- солидным запасом в природе, длительным сроком службы;
- неоспоримой экологичностью как натуральный материал.

Процесс производства начинается с добычи сырья, отделения разных по размерам и конфигурации блочков камня от массива, которые доставляются и подвергаются к обработке в производство, где из них получают различного ассортимента колотых изделий.

В основе производства колотых изделий лежит механика разрушения, которая харак-

теризуются образованием трещины в камня под воздействием создаваемого напряжения, распространением образованной трещины, что и приводит к разделению блока камня.

Природные камни — это гетерогенные композитные твердые тела с микроструктурами, включающее кристаллы минералов, пустоты и трещины, что делает их поведение квази-хрупким [1,3,7]. Поэтому предельное напряжение раздела камня можно представить фундаментальной зависимостью Гриффитса:

$$\sigma = \sqrt{2E\gamma/\rho a_m},$$

где  $\sigma$  — предельное напряжение (Н/м<sup>2</sup>),  $E$  — модуль Юнга (Н/м<sup>2</sup>),  $\gamma$  — поверхностная энергия (Нм/м<sup>2</sup>),  $a_m$  — начальная длина трещины (м). Для камней типа гранита ( $E \approx 50-70$  ГПа), что обуславливает более высокую устойчивость к расщеплению по сравнению с известняком ( $E \approx 30-50$  ГПа). На практике методы расщепления — механические расколы камня, обеспечивают растягивающими напряжениями, поскольку камни намного слабее в растяжении (обычно составляют 5-10% от их прочности на сжатие).

При механической колке теоретически энергия, вводимая в камень, должна балансировать энергию разрушения камня:

$$W = \int \sigma d\epsilon + \gamma A,$$

где  $W$  — работа проделанная, раскалывающей силой (Дж);  $A$  — площадь (м<sup>2</sup>) на которую действует раскалывающая сила;  $d\epsilon$  — бесконечно малое изменение деформации в камне.

Анализируя раскалываемость камня замечаем, что здесь необходимо учесть вероятностные модели неоднородности природных камней в пределах месторождения, где изменение их прочности ближе всего следует распределению Вейбуллы [6]:

$$F(\sigma) = 1 - \exp[-(\sigma/\sigma_0)^m],$$

где  $F(\sigma)$  — интегральная функция распределения, характеризующая вероятности распределения предельного напряжения (прочности) камня по участкам месторождения;  $\sigma$  — случайное переменное предельное напряжение (прочность) камня, в разных участках по месторождения. Условие  $\sigma \geq 0$  означает, что переменная неотрицательна;  $\exp$  или  $e$  — экспоненциальная функция (основание натуральный логарифм  $e \approx 2,718$ );  $\sigma_0$  — характерное предельное напряжение (прочность) камня;  $m$  — модуль Вейбуллы, описывает степень разброса прочностных характеристик камня по участкам месторождения, при  $m = 1$  распределение становится экспоненциальным, при  $m \approx 3$  нормальное распределение.

Технологический цикл производства колотых изделий из камня можно представить как систему очередей (модель M/M/1 для одностадийной обработки потока образцов камня). M/M/1 — это модель в теории очередей, которая позволяет анализировать и прогнозировать такие важные показатели, как время ожидания, длина очереди и загрузка оборудования:

$$L = \frac{\lambda}{\mu - \lambda},$$

где  $L$  — условная длина очереди (задержка дефектов),  $\lambda$  — скорость поступления сырых образцы камня, шт./мин,  $\mu$  — скорость обслуживания (скорость раскола камня), шт./мин. Автоматизация увеличивает  $\mu$  на 20-30%, снижая  $L$  и согласно графика (рис.1) эффективность производства достигает на 90-95%. Максимальный уровень достигается при оптимально больших объемах производства.

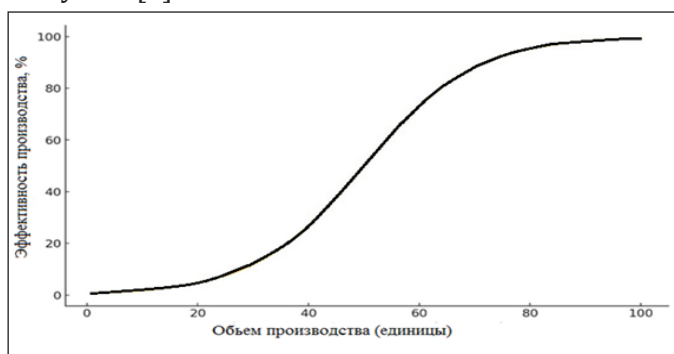


Рис. 1. Эффективность производства в зависимости от объема

Представленный ниже подход к развитию многостадийных производственных процессов (включающих добычу, первичную обработку, расщепление и контроль качества) основан на принципах теории графов. Это методология направлена на формализацию контроля цепочки формирования стоимости и минимизацию операционных издержек путём решения задачи о потоке минимальной стоимости.

Задача оптимизации формулируется как задача минимизации суммарной стоимости потока производства изделий из камня  $C$ :

$$C = \sum e_{ij} \cdot x_{ij} ,$$

где  $C$  - целевая функция (или суммарная стоимость затрат), которую необходимо минимизировать в данной задаче;  $e_{ij}$  - коэффициент стоимости затрат на единицу операций;  $x_{ij}$  - искомая величина (или количество/операций), которую нужно определить в процессе решения задачи;  $e_{ij} \cdot x_{ij}$  - частные затраты т.е. произведение удельных затрат в объеме.

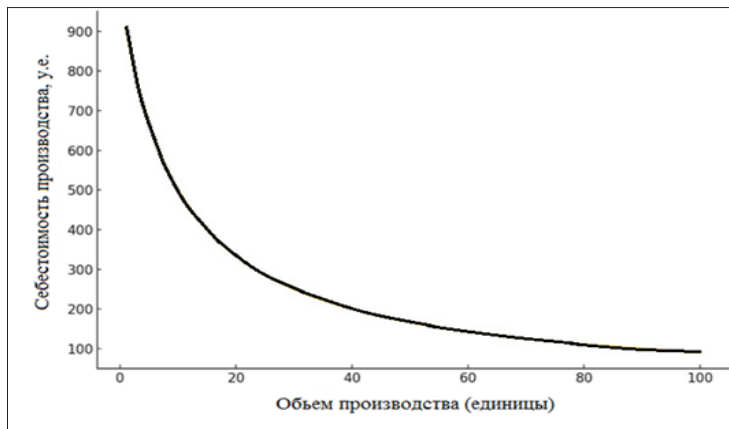


Рис. 2. Себестоимость производства в зависимости от объёма

Приведенные выше зависимости демонстрируют, как рациональная настройка производственного процесса и увеличение объемов могут повысить эффективность и снизить затраты, минимизируя также уровень отхода.

Развитие технологий и обобщенное их моделирование позволяет значительно повысить эффективность производства. Внедрение инноваций, автоматизация и устойчивое производство открывают новые горизонты использования изделий из природного камня.

Применение данной сетевой модели позволяет не только формализовать и алгоритмизировать управление технологической цепочкой, но и обеспечить высокую степень минимизации её стоимости. Согласно заявленным оценкам, внедрение данного подхода способно обеспечить потенциальное снижение общих операционных затрат до 25%, что подтверждает его высокую эффективность для управления процессами с выраженной пространственной и временной дискретностью.

Себестоимость продукции (изделие из камня):  $C(v) = f + vc/v + m \cdot v$ ,

или гиперболическая зависимость вида  $C(v) \approx a/vb + c$ ,  $b \approx 0,5 - 1$

где  $f$  - фиксированные затраты,  $vc$  - переменные затраты на настройку,  $m$  - предельные затраты,  $v$  - объем. Себестоимость уменьшается с увеличением объемов производства за счёт эффекта масштаба. График показывает снижение себестоимости с 1000 у.е. до 100 у.е. при больших объемах (рис. 2).

Представленные выше изыскания к теории производства колотых изделий из камня синтезируют механику разрушения, развивает модели технологий их производства и принципы устойчивости их применения. Будущие исследования должны фокусироваться на гибридных моделях, сочетающих симуляции на основе улучшения эффективности на 20-30% и снижение воздействия на окружающую среду, что обеспечить дальнейшую устойчивость индустрии колотых изделий из природного камня и развития устойчивой инфраструктуры их использования.

**Список литературы:**

1. Мамасаидов М.Т. Анализ себестоимости производства колотых изделий винтового камнекольного пресса [Текст]: Материалы II международной научно-практической конференции / М.Т. Мамасаидов, И.Э. Исаев // Автоматизированное проектирование в машиностроении.- Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский горный университет, 2014.- №2.- С. 187-191.
2. Мамасаидов М.Т. Создание и испытание опытного образца малого винтового камнекольного пресса ВКП-50 [Текст] / М.Т. Мамасаидов, М.М. Исманов, И.Э. Исаев // Наука. Образование. Техника. – Ош: КУУ, 2015. – №2. – С.170-179.
3. И.А. Биргер. Сопrotивление материалов [Текст] / Биргер И. А., Мавлютов Р. Р. // Учебное пособие.— М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1986.— 454 с.
4. Мамасаидов М.Т. Методика определения производительности камнекольных прес-сов типа ПКА [Текст]/ М.Т. Мамасаидов, Р.А. Мендекеев, Н.А. Калдыбаев // Матер.межд. научн. конф. -Бишкек, 2001. –С. 315-320.
5. Мамасаидов М.Т. Промышленные испытания опытного образца гидравлического камнекольного пресса ГКП-100 [Текст] / М.Т. Мамасаидов, М.М. Исманов, И.Э. Исаев // Наука. Образование. Техника. – Ош: КУУ, 2015. – №1. – С.180 -189.
6. Статистические методы распределение Вейбулла. Анализ данных (IEC 61649:2008, Weibull analysis, MOD): Москва Стандартиформ, 2020.-56с.
7. Мамасаидов М.Т. Дорожные колотые изделия из природного камня и обобщенные мо-дели их производства [Текст] / М.Т. Мамасаидов, И.Э. Исаев // Наука. Образование. Техника. – Ош: КУУ, 2025. – №1. – С.180 -189.

УДК 504.064.36: 622.271.3(575.2)

**Калдыбаев Нурланбек Арзымаматович,**  
*канд.техн. наук, с.н.с., проф. кафедры Геология полезных ископаемых*  
**Дуванакулов Мусабек Абдушарипович,**  
*доцент кафедры Геология полезных ископаемых*  
**Панфиленко Татьяна Гайратовна,**  
*препод. кафедры Геология полезных ископаемых*  
**Жунусалиева Айжаркын Келсинбековна,**  
*препод. кафедры Геология полезных ископаемых*

**МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МОНИТОРИНГА ДОБЫЧИ  
ПЕСЧАНО-ГРАВИЙНОЙ СМЕСИ В ПОЙМАХ РЕК**

**Калдыбаев Нурланбек Арзымаматович,**  
*техн.илимд.канд., ага илим.кызм., Пайдалуу кендердин геологиясы кафедр. профессору*  
**Дуванакулов Мусабек Абдушарипович,**  
*Пайдалуу кендердин геологиясы кафедрасынын доценти*  
**Панфиленко Татьяна Гайратовна,**  
*Пайдалуу кендердин геологиясы кафедрасынын окутуучусу*  
**Жунусалиева Айжаркын Келсинбековна,**  
*Пайдалуу кендердин геологиясы кафедрасынын окутуучусу*

**ДАРЫЯ НУКТАРЫНДА КУМ-ШАГЫЛ АРАЛАШМАСЫН КАЗЫП АЛУУНУ  
КӨЗӨМӨЛДӨӨНҮН МЕТОДИКАЛЫК НЕГИЗДЕРИ**

**Kaldybaev Nurlanbek Arzymamatovich,**  
*Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher, Professor of the Department  
of Geology of Minerals*  
**Duvanakulov Musabek Abdusharipovich,**  
*Associate Professor of the Department of Geology of Minerals*  
**Panfilenko Tatiana Gayratovna,**  
*lecturer at the Departments of Geology of Minerals*  
**Zhunusalieva Aizharkyn Kelsinbekovna,**  
*lecturer at the Departments of Geology of Minerals*

**METHODOLOGICAL FOUNDATIONS OF MONITORING THE EXTRACTION  
OF SAND-GRAVEL MIXTURE IN FLOODPLAINS**

*Ошский технологический университет им. М.М. Адышева,  
Ош, Кыргызская Республика*  
*М.М.Адышева атындагы Ош технологиялык университети,  
Ош, Кыргыз Республикасы*  
*Osh Technological University named after M.M.Adyshev,  
Osh, Kyrgyz Republik*

**Аннотация.** В статье рассматриваются методические основы организации геоэкологического мониторинга добычи песчано-гравийной смеси (ПГС) в поймах и руслах рек Кыргызстана. Актуальность исследования обусловлена усилением антропогенного воздействия, вызывающего русловые деформации, эрозию берегов и деградацию экосистем. Предложена комплексная методика наблюдений, основанная на сочетании дистанционного зондирования Земли, геоинформационных систем (ГИС), натуральных гидрологических исследований и биоиндикации. Разработаны этапы и принципы мониторинга, обеспечивающие объективность

и системность оценки последствий добычи ПГС. Введён комплекс индикаторов, включающий морфометрические, гидрохимические и биологические параметры, позволяющий прогнозировать изменения и разрабатывать меры по снижению геоэкологических рисков. Реализация предложенной системы мер способствует формированию региональной ГИС-платформы мониторинга и устойчивому природопользованию в горных районах Кыргызстана.

**Ключевые слова:** песчано-гравийная смесь, мониторинг, пойма, река, донные отложения, геоэкологический риск, ГИС

**Аннотация.** Макалада Кыргызстандын дарыяларынын жайылмаларында жана нуктарында кум-шагыл аралашмасын (КША) казып алууга геоэкологиялык мониторинг уюштуруунун методикалык негиздери каралган. Изилдөөнүн актуалдуулугу каналдын деформациясын, жээктердин эрозиясын жана экосистемалардын деградациясын пайда кылган антропогендик таасирдин күчөшү менен шартталган. Жерди аралыктан зонддоонун, геомаалыматтык системалардын (ГИС), натуралык гидрологиялык изилдөөлөрдүн жана биоиндикациянын айкалышына негизделген байкоолордун комплекстүү методикасы сунушталган. КША казып алуунун кесепеттерин баалоонун объективдүүлүгүн жана системалуулугун камсыз кылуучу мониторингдин этаптары жана принциптери иштелип чыкты. Сунушталган индикаторлордун комплекси морфометриялык, гидрохимиялык жана биологиялык параметрлерди камтуу менен бирге геоэкологиялык тобокелдиктерди азайтууга өбөлгө түзөт. Изилдөөнүн жыйынтыктарын ишке ашыруу аркылуу мониторинг жүргүзүү үчүн регионалдык ГИС-платформа түзүлөт жана бул Кыргызстандын тоолуу аймактарында жаратылышты туруктуу жана коопсуз пайдаланууну камсыздайт.

**Ачкыч сөздөр:** кум-шагыл аралашмасы, мониторинг, суу ташкыны, дарыя, чөкмөлөр, геоэкологиялык коркунуч, ГИС.

**Abstract.** The article discusses the methodological foundations of the organization of geoecological monitoring of the extraction of sand-gravel mixture (GHS) in floodplains and riverbeds of Kyrgyzstan. The relevance of the study is due to the increased anthropogenic impact causing channel deformations, coastal erosion and ecosystem degradation. A comprehensive observation technique based on a combination of remote sensing of the Earth, geographic information systems (GIS), field hydrological research and bioindication is proposed. The stages and principles of monitoring have been developed to ensure the objectivity and consistency of the assessment of the consequences of GHG mining. A set of indicators has been introduced, including morphometric, hydrochemical and biological parameters, which make it possible to predict changes and develop measures to reduce geoecological risks. The implementation of the proposed system of measures contributes to the formation of a regional GIS platform for monitoring and sustainable environmental management in the mountainous regions of Kyrgyzstan.

**Keywords:** sand and gravel mixture, monitoring, floodplain, river, bottom sediments, geoecological risk, GIS.

### Введение

В последние годы в Кыргызстане всё более актуальной становится проблема изменения морфологических характеристик рек, вызванная интенсивной хозяйственной деятельностью в поймах и руслах. Освоение песчано-гравийных месторождений сопровождается эрозией берегов, нарушением гидрогеологических условий и деградацией экосистем [1,2,10]. Эти процессы приводят к затоплению земель, загрязнению водных объектов и росту геоэкологических рисков.

Существующая система наблюдений за состоянием речных русел в республике не

обеспечивает комплексного анализа и прогнозирования негативных последствий добычи песчано-гравийной смеси (ПГС). В связи с этим возрастает необходимость внедрения **системного экологического мониторинга**, ориентированного на рациональное природопользование и устойчивое развитие водных экосистем.

**Цель исследования** — разработка методических основ организации мониторинга добычи ПГС в поймах и руслах рек Кыргызстана с использованием дистанционных, гидрологических и геоинформационных технологий. Работа выполнена в рамках

проекта НИР по теме «Определение негативного воздействия интенсивного забора песчано-гравийного материала из русел рек и водотоков», выполненного в Ошском технологическом университете в 2023-2024 гг. согласно госзаказу МЧС КР.

**Основные задачи исследований сводятся к следующему:**

1. Обосновать принципы и подходы к мониторингу русловых деформаций и гидро-экологических изменений.

2. Разработать методику комплексного наблюдения за объемами добычи и её воздействием на окружающую среду.

3. Оценить эффективность применения ГИС и БПЛА для анализа русловых процессов.

4. Сформировать систему индикаторов для оценки негативного воздействия добычи ПГС.

1. Методы и материалы исследования

Организация мониторинга охватывает наблюдения за русловыми деформациями, качеством воды и состоянием донных отложений. Он основан на сочетании **наземных, дистанционных и аналитических методов** [4,5,6,7]. Периодичность наблюдений зависит от интенсивности процессов:

- медленные изменения фиксируются ежегодно после половодья;
- быстрые — в активные фазы русловых преобразований;
- катастрофические — после паводков и селевых событий.

**Мониторинг опирается на следующие основные принципы:**

- **Комплексность** — оценка объемов добычи и её влияния на гидрологический и экологический режим.

- **Системность** — регулярное проведение наблюдений с целью выявления динамики изменений.

- **Объективность** — применение независимых методов измерений и дистанционного зондирования.

- **Целевая направленность** — контроль за лицензионными участками и выявление нелегальной добычи.

**Мониторинг осуществляется с применением следующих методов и технологий:**

1. **Дистанционное зондирование Земли (ДЗЗ):**

Используются спутниковые снимки сверхвысокого разрешения (WorldView,

GeoEye) и аэросъемка с беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Сравнение разновременных изображений позволяет выявлять масштабы выемки и деформации русла.

**2. Геоинформационные системы (ГИС):**

ГИС служат инструментом интеграции данных с ДЗЗ, БПЛА и полевых измерений. Позволяют создавать карты состояния русла, моделировать деформации и прогнозировать изменения.

**3. Натурные гидрологические и геодезические обследования:**

Измерения рельефа дна и берегов, скорости течения, уровней воды и состава донных отложений. Пробы анализируются по методике РД 52.24.309-2004.

**Этапы мониторинга**

1. Подготовительный анализ исходных данных (карты, снимки, архивные гидрологические сведения).

2. Полевые работы — геодезические измерения и отбор проб.

3. Дистанционный мониторинг — получение и анализ спутниковых и аэрофотоснимков.

4. Камеральная обработка — использование ГИС для анализа и сравнения данных.

5. Анализ и оценка результатов.

6. Контроль и надзор со стороны природоохранных органов.

2. Результаты исследования

В результате проведенного анализа и обобщения существующих подходов разработана **методическая основа комплексного экологического мониторинга добычи песчано-гравийной смеси (ПГС) в поймах и руслах рек Кыргызстана**. Данная методология была апробирована для определения негативных факторов добычи ПГС в руслах рек Кок-Арт и Кара-Ункур [10].

**По результатам аналитических и полевых работ разработана концептуальная модель мониторинга**, включающая взаимодействие трёх уровней наблюдения (рис.1):

о **дистанционный (спутниковый и БПЛА-контроль)** — для оценки пространственно-временных изменений русел;

о **гидрологический (натурные наблюдения)** — для определения динамики водного режима и качества воды;

о **аналитико-оценочный (камеральный уровень)** — для интеграции данных в ГИС и расчёта показателей воздействия.



Рис.1. Концептуальная модель мониторинга за процессом добычи ПГС в поймах рек

На каждом этапе **мониторинга собирается банк данных с учетом выработанных принципов организации мониторинга** (комплексность, системность, объективность, целевая направленность), обеспечивающие возможность постоянного и сопоставимого контроля за процессами добычи ПГС. В конечном итоге эти данные будут использованы для разработки природоохранных мероприятий и эффективного управления ресурсами.

Разработан комплекс индикаторов для оценки состояния рек, включающий:

-**морфометрические параметры** (глубина, ширина, скорость потока);

-**гидрохимические показатели** (мутность, содержание взвешенных веществ);

-**биологические характеристики** (состояние макрозообентоса).

**Разработаны рекомендации по созданию региональной ГИС-платформы мониторинга** русловых процессов, ориентированной на автоматизированное выявление русловых деформаций и контроль объемов добычи ПГС [8,9].

Предложенная система мониторинга обеспечивает:

- выявление русловых деформаций с высокой точностью;
- оценку воздействия добычи ПГС на гидрологический режим рек Кыргызстана;
- автоматизацию расчета объемов добытого материала по данным ДЗЗ и БПЛА;
- интеграцию данных в единую региональную ГИС.

### 3. Обсуждение результатов

Проведенные исследования подтверждают, что добыча ПГС вызывает разрушение берегов, углубление русел и ухудшение качества воды. Использование дистанционных и ГИС-технологий значительно повышает эффективность мониторинга, позволяя выявлять нарушения и прогнозировать последствия антропогенного воздействия.

Рекомендовано создание **региональной геоинформационной платформы** для постоянного наблюдения за русловыми процессами, интеграции данных от различных ведомств и оперативного реагирования на нарушения.

Сравнение с зарубежными аналогами показывает, что предложенная методика отвечает современным принципам устойчивого управления водными ресурсами и может быть адаптирована для других горных регионов Центральной Азии.

#### Заключение

Добыча ПГС вызывает комплекс гидро-морфологических и экологических изменений, а также возникновение ЧС, требующих постоянного контроля. Следовательно, необходимо вести регулярные всесезонные наблюдения. Эффективный мониторинг должен основываться на интеграции гидрометрических, ГИС- и дистанционных методов.

Разработанная в настоящей работе система индикаторов обеспечивает раннее выявление негативных тенденций и обоснование природоохранных решений. Внедрение региональной ГИС-системы мониторинга позволит снизить геоэкологические риски и обеспечить устойчивое природопользование в горных реках Кыргызстана.

**Список литературы:**

1. Михайлов А.М. Охрана окружающей среды при разработке месторождений открытым способом. М.: Недра, 1981. 184 с.
2. Калыбеков Т. Обоснование возникновения экологического риска при открытой разработке месторождений // Изв. НТО «КАХАК». Алматы, 2011. № 2 (32). С. 95–99.
3. Бабенко О.Б., Семикобыла Я.Г. Методика расчета ущерба окружающей среде на территории горнодобывающего района // Горный журнал. 2010. №7. С.103–105.
4. Пьянков С.В., Шихов А.Н. Геоинформационное обеспечение моделирования гидрологических процессов и явлений. Пермь: ПГНИУ, 2017. 148 с.
5. Вогель Д.К., Попов А.В. Метод создания цифровой модели рельефа на основе съемки с беспилотного летательного аппарата // Наукосфера, №9(2), 2021. С.46–50.
6. Сарапулова Г.И. Новые подходы мониторинга загрязнения геосистем // Успехи современного естествознания. 2010. №11. С.65–66.
7. Бычков И.В., Ружников Г.М., Федоров Р.К. и др. Цифровая трансформация экологического мониторинга оз. Хубсугул и Прихубсугулья // Вычислительные технологии. 2022. Т.27, №5. С.14–29.
8. Kaldybaev N.A., Sopubekov N.A., Mamatkasymova A.T. et al. Methodological Basis for Assessing Negative Factors of Mineral Extraction on Beds of Rivers and Watercourses // Sustainable Development of the Agrarian Economy Based on Digital Technologies and Smart Innovations. Springer, 2024. pp. 287–293.
9. Калдыбаев Н.А., Маткасымова А.Т., Панфиленко Т.Г., Жунусалиева А.К. Методические основы использования ГИС-технологий для гидрологического мониторинга и оценки русловых деформаций в горных реках // В сб.: Актуальные проблемы проведения геолого-геофизических исследований. Краснодар, 2024. С. 146–151.
10. Калдыбаев Н.А., Панфиленко Т.Г., Токтомуратова Г.Ш. и др. Оценка негативных факторов добычи песчано-гравийного материала в русле реки Кугарт // Вестник Кыргызского национального университета им. Ж. Баласагына. 2023. №S1. С.57–61.

УДК 550.8: 004.8

**Сопубеков Нематилла Абдилахатович<sup>1</sup>,**  
*кандидат технических наук, профессор*  
**Сыдыкова Наргул Айдарбековна<sup>2</sup>,**  
*преподаватель*  
**Жусуева Толгонай Сатаркуловна<sup>2</sup>,**  
*преподаватель*

**ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ В ГЕОЛОГИИ  
И РАЗВЕДКЕ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ**

**Сопубеков Нематилла Абдилахатович<sup>1</sup>,**  
*техника илимдеринин кандидаты, профессор*  
**Сыдыкова Наргул Айдарбековна<sup>2</sup>,**  
*окутуучу*  
**Жусуева Толгонай Сатаркуловна<sup>2</sup>,**  
*окутуучу*

**ГЕОЛОГИЯДА ЖАНА ПАЙДАЛУУ КЕНДЕРДИ ЧАЛГЫНДООДО МААЛЫМАТТЫК  
ИШТЕП ЧЫГУУНУН ИНТЕЛЛЕКТУАЛДЫК СИСТЕМАЛАРЫ**

**Nematilla A. Sopubekov<sup>1</sup>,**  
*candidate of technical sciences, professor*  
**Nargul A. Sydykova<sup>2</sup>,**  
*lecturer*  
**Tolgonai S. Zhusueva<sup>2</sup>,**  
*lecturer*

**IN GEOLOGY AND MINERAL EXPLORATION, INTELLIGENT METHODS  
OF INFORMATION PROCESSING SYSTEMS**

<sup>1</sup>*Ошский технологический университет им. М.М. Адышева, Ош,  
Кыргызская Республика*

<sup>2</sup>*Ошский государственный университет, Ош,  
Кыргызская Республика*

<sup>1</sup>*М.М.Адышева атындагы Ош технологиялык университети,  
Ош, Кыргыз Республикасы*

<sup>2</sup>*Ош мамлекеттик университети, Ош, Кыргыз Республикасы*

<sup>1</sup>*Osh Technological University named after M.M.Adyshev, Osh,  
Kyrgyz Republic*

<sup>2</sup>*Osh State University Osh, Kyrgyz Republic*

**Аннотация.** Бул макалада геология жана пайдалуу кендерди чалгындоо боюнча актуалдуу маселелерди чечүү үчүн маалыматтарды иштеп чыгуу жана аларды колдонуу үчүн заманбап интеллектуалдык системасын комплекстүү талдоо жүргүзүлөт. Мындай системалардын архитектурасы, анын ичинде машинаны үйрөнүү ыкмалары, нейрон тармактары, чоң маалымат технологиялары жана геомаалыматтык системалар каралат. Өзгөчө көңүл практикалык маселелерди чечүүгө бурулду: геофизикалык маалыматтарды автоматтык түрдө интерпретациялоо, кен байлык объектилерин болжолдуу картага түшүрүү, үч өлчөмдүү

геологиялык моделдерди куруу жана чалгындоо иштерин пландаштыруу үчүн сунуштоочу системаларды түзүү. Муңайгаз жана катуу кендик тармактардын мисалдарын талдоонун негизинде интеллектуалдык системаларды киргизүү болжолдордун тактыгын 20-30% га жогорулатууга, маалыматтарды чечмелөө мөөнөтүн 3-5 эсеге кыскартууга жана чечим кабыл алууда финансылык тобокелдиктерди азайтууга мүмкүндүк берери көрсөтүлгөн.

**Ачкыч сөздөр:** интеллектуалдык тутумдар, маалыматтарды иштеп чыгуу, геология, пайдалуу кендерди чалгындоо, жасалма интеллект, машинаны окутуу, нейро тармактар, чоң маалыматтар, ГИС, санариптештирүү, болжолдуу карталар.

**Аннотация.** В статье проводится комплексный анализ современных интеллектуальных систем обработки данных и их применения для решения актуальных задач геологии и разведки полезных ископаемых. Рассматривается архитектура таких систем, включая методы машинного обучения, глубокие нейронные сети, технологии больших данных и геоинформационные системы. Особое внимание уделено решению практических задач: автоматической интерпретации геофизических данных, прогнозируемому картированию рудных объектов, построению трехмерных геологических моделей и созданию рекомендательных систем для планирования разведочных работ. На основе анализа кейсов из нефтегазовой и твердололезной отраслей показано, что внедрение интеллектуальных систем позволяет повысить точность прогнозов на 20-30%, сократить сроки интерпретации данных в 3-5 раз и снизить финансовые риски при принятии решений.

**Ключевые слова:** интеллектуальные системы, обработка данных, геология, разведка полезных ископаемых, искусственный интеллект, машинное обучение, нейросети, большие данные, ГИС, цифровизация, прогнозное картирование.

**Annotation.** The article provides a comprehensive analysis of modern intelligent data processing systems and their application to solve urgent problems of geology and mineral exploration. The architecture of such systems is considered, including machine learning methods, deep neural networks, big data technologies and geoinformation systems. Special attention is paid to solving practical problems: automatic interpretation of geophysical data, predictive mapping of ore objects, construction of three-dimensional geological models and creation of advisory systems for planning exploration work. Based on the analysis of cases from the oil and gas and solid-state industries, it is shown that the introduction of intelligent systems makes it possible to increase forecast accuracy by 20-30%, reduce data interpretation time by 3-5 times, and reduce financial risks when making decisions.

**Keywords:** intelligent systems, data processing, geology, mineral exploration, artificial intelligence, machine learning, neural networks, big data, GIS, digitalization, predictive mapping.

**Киришүү.** Азыркы мезгилдеги заманбап геологиялык чалгындоо тармагы бир топ татаалдык-тардын алдында турат: геологиялык жана геофизикалык маалыматтардын жалпы өсүшүнө карабастан, чалгындоо иштеринин натыйжалуулугу төмөндөп жатат. Бул оңой ачылуучу кендер негизинен мурда эле табылгандыгы менен шартталган, ал эми келечектүү максаттар барган сайын татаал, терең жана диагностикалоо кыйын болуп баратат. Адистештирилген адистердин тажрыйбасына жана маалыматтарды этап-этабы менен иштеп чыгууга негизделген салттуу талдоо ыкмалары заманбап көп параметрлүү маалымат топтомдорунун көлөмүн жана татаалдыгын көтөрө албайт,

бул чыгымдардын, мөөнөттөрдүн жана адам катасынын көбөйүшүнө алып келет [1].

Мындай шарттарда интеллектуалдык маалыматтарды иштетүү системалары (IDPS) менен тармактын санариптик трансформациясы бул чакырыктарга стратегиялык жооп болуп жатат. Бул системалар жөн гана алгоритмдердин жыйындысы эмес, маалыматтардан автоматтык түрдө билим алууга, айкын эмес схемаларды аныктоого жана алдын ала чечим чыгарууга жөндөмдүү интеграцияланган аппараттык жана программалык системаларды билдирет [2]. Бул иштин актуалдуулугу геология үчүн AI технологияларынын тез өнүгүп жаткан спектрин системалаштыруу, алардын чыныгы

натыйжалуулугун баалоо жана өнүгүүнүн так перспективаларын түзүү зарылчылыгынан келип чыгат.

**Изилдөөнүн максаты.** Геологияда жана пайдалуу кендерди чалгындоодо маалыматтарды иштеп чыгуунун интеллектуалдык системаларын колдонуунун мүмкүнчүлүктөрүн, чектөөлөрүн жана келечегин талдоо болуп саналат.

**Изилдөө максаттары:**

1. Заманбап ИСОД (интеллектуальные системы обработки данных) архитектура-сын жана негизги компоненттерин карап чыгуу.

2. Геологиялык маселелерди чечүү үчүн

колдонулуучу негизги AI ыкмаларын классификациялоо жана талдоо.

3. Мисал катары конкреттүү учурларды колдонуу менен ISOD практикалык колдонулушун изилдөө.

4. Технологияны өнүктүрүүнүн артыкчылыктарын, чектөөлөрүн жана келечектүү багыттарын аныктоо.

**1. Маалыматтарды иштеп чыгуунун интеллектуалдык системасынын архитектурасы**

Интеллектуалдык система – чийки маалыматтарды болжолдоочу чечимдерге айландыруу үчүн иштелип чыккан көп катмарлуу архитектура. Анын жалпы түзүлүшү 1-сүрөттө көрсөтүлгөн.



Сүрөт 1. Интеллектуалдык системанын жалпыланган архитектурасы

Мындай системанын негизги иштөө принциби бири-биринен айырмаланган маалыматтарды (геофизикалык, геохимиялык, аралыктан изилдөө жана геологиялык) бирдиктүү репозиторийге (Маалымат көлү) чогултуу жана интеграциялоодон баштап, аягына чейин кайра иштетүү цикли болуп саналат. Кийинки этапта машинаны үйрөнүү жана чоң маалыматтарды талдоо аркылуу жашыруун калыптар жана мамилелер аныкталат. Натыйжалар мейкиндикти талдоо

жана визуализациялоо үчүн ГИС чөйрөсүнө интеграцияланган жана система геологдор тарабынан чечим кабыл алуу үчүн сандык болжолдоочу моделдерди жана сунуштарды түзөт [3].

**2. Методдордун классификациясы жана геологиялык маселелерде колдонулушу**

Геологияда колдонулуучу жасалма интеллект ыкмаларын чечилген маселелердин түрүнө жараша классификациялоого болот (1-таблица).

**Таблица 1. Геологиялык маселелерди чечүү үчүн  
AI ыкмаларынын классификациясы**

Тапшырма түрү	AI ыкмалары	Геологиялык маселе	Маалыматтарды киргизүү
<b>Классификация</b>	Чечим дарактары, SVM, k-жакынкы кошуналар (k-NN)	ГИС маалыматтарынын негизинде литологияны классификациялоо, идентификациялоо	журналдар, өзөктүү маалыматтар
<b>Регрессия</b>	Random Forest, Gradient Boosting (XGBoost), Сызыктуу регрессия	Пайдалуу компоненттердин мазмунун болжолдоо (Au, Cu), көзөнөктүүлүгүн баалоо (поритост)	Геохимиялык үлгүлөр, ГИС маалыматтары, сейсмикалык атрибуттар
<b>Кластеризация</b>	k-алгоритмди билдирет (DBSCAN)	Геохимиялык аномалияларды жана гидротермалдык өзгөрүү зоналарын аныктоо	Көп элементтүү геохимиялык маалыматтар, алыстан зонддоо спектралдык маалыматтар
<b>Үлгүлөрдү таануу</b>	нейрон тармактары (CNN, U-Net)	Сейсмикалык сүрөттөрдү автоматтык интерпретациялоо (жарыктарды, рифтерди аныктоо), алыстан зонддоо маалыматтарын декоддоо	Сейсмикалык кубдар, спутниктен алынган сүрөттөр
<b>Оптимизация</b>	Генетикалык алгоритмдер, интеллект	Чалгындоо скважиналарынын тармагын оптималдаштыруу, геологиялык моделдерди калибрлөө	Кен чыккан аймактын 3D модели, экономикалык параметрлери

Машина үйрөнүү (ML) классификация жана болжолдоо маселелерин чечүү үчүн негиз түзөт. Мисалы, ансамблге негизделген алгоритмдер (Random Forest, XGBoost) алдын ала карта түзүүдө жогорку эффективдүүлүктү көрсөтүп, геологиялык өзгөчөлүктөрдүн жыйындысынын негизинде берилген чекитте кенди ачуу ыктымалдыгын баалоого мүмкүндүк берет [4].

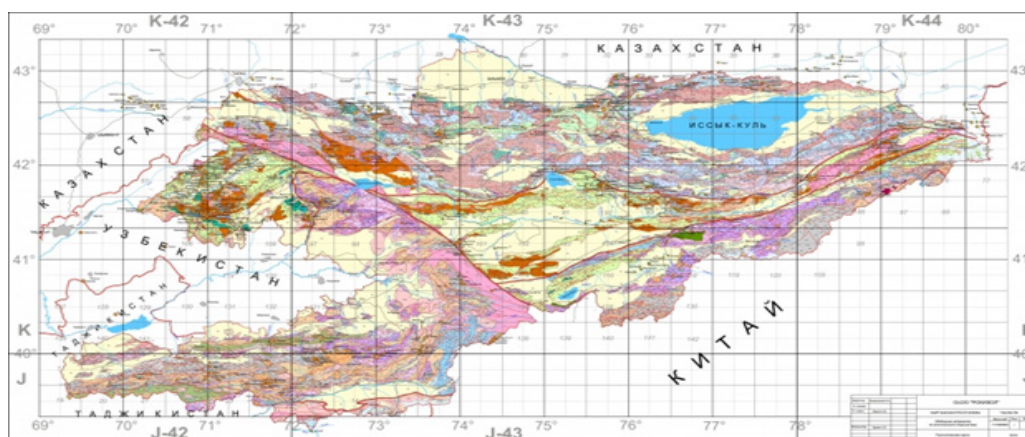
Терең үйрөнүү жаңы мүмкүнчүлүктөрдү ачты, айрыкча сүрөттү чечмелөө тармагында. Convolutional нейрон тармактары (CNNs) сейсмикалык маалыматтардагы каналдар, рифтер жана резервуар денелери сыяктуу функцияларды автоматтык түрдө аныктоо үчүн ийгиликтүү колдонулуп, кол менен жасалган аракеттерге салыштырмалуу интерпретациялоо процессин кыйла тездетип

жана стандартташтырат [5]. Кайталануучу нейрон тармактары (RNNs) убакыт серияларынын маалыматтарын, мисалы, журнал маалыматтарын талдоо үчүн натыйжалуу.

Географиялык маалымат системалары (ГИС) бардык маалыматтар жана AI алгоритминин натыйжалары үчүн мейкиндик маалымдамасын камсыз кылуучу интеграциялык платформа катары иштейт. Заманбап ГИС системалары запастарды эсептөө жана тоо-кен иштерин пландаштыруу үчүн негиз болгон комплекстүү 3D кен моделдерин курууга мүмкүндүк берет.

### **3. Практикалык колдонуунун мисалдары жана натыйжаларды талдоо**

1) Машиналарды окутууну колдонуу менен алтын кендеринин болжолдуу картасын түзүү



Сүрөт 2. Кыргызстандын болжолдонгон алтын потенциалынын картасынын түзүлүшү

Геологиялык базалык диаграмма түстөрдү колдонуу менен алтындын минералдашуу ыктымалдыгын көрсөтөт (жашыл = төмөн, кызыл = жогорку). Тегерекчелер жогорку даражалуу зоналар менен дал келген белгилүү кендерди көрсөтөт. Жебелер модел тарабынан сунушталган жаңы келечектүү аймактарды көрсөтөт.

Мындай моделдер учурда Россияда колдонулууда. Чыгыш Сибирдеги алтын кендеринин бирине кокус токой алгоритмине негизделген модель колдонулган. Модель алтындын белгилүү кендери жана көрүнүштөрү боюнча маалыматтарды колдонуу менен окутулган жана өзгөчөлүк катары көп параметрлик маалыматтар колдонулган: As, Sb жана W геохимиялык түзүмдөрү; магниттик жана гравитациянын маалыматтары; ошондой эле алыстан зондоонун жардамы менен линияны талдоо. Модель белгилүү объектилердин жогорку потенциалын ырастай гана тим болбостон, мурда каралба-

ган үч жаңы келечектүү багытты да аныктады. Болжолдоочу моделдин эффективдүүлүгү AUC (Ийри сызыктын аянты) метрикасына ылайык 0,85ти түзүп, анын алдын ала айтуунун жогорку күчүн көрсөткөн [7].

2) Терең үйрөнүүнү колдонуу менен сейсмикалык маалыматтарды интерпретациялоону автоматташтыруу

Нефть геологиясында сейсмикалык фацияларды жана объекттерди (каналдарды) автоматтык түрдө аныктоо үчүн U-Net конволюциялык нейрон тармагы колдонулган. Окутуулар белгиленген сейсмикалык участкактор (куб) боюнча өткөрүлдү. Натыйжада, модель жаңы маалыматтардагы максаттуу объектилерди 90%дан ашык тактык менен аныктоо мүмкүнчүлүгүн көрсөтүп, бир кубду чечмелөө убактысын бир нече жумадан бир нече саатка чейин кыскартты [8].

Маалыматтарды иштетүүнүн салттуу жана интеллектуалдык ыкмаларынын салыштырма анализи 2-таблицада берилген.

Таблица 2. Методдордун натыйжалуулугун салыштырып талдоо

Критерий	Салттуу методдор	Интеллектуалдык системалар
Чечмелөө ылдамдыгы	Төмөн (апта/ай)	Жогорку (саат/күн)
Натыйжалардын объективдүүлүгү	Субъективдүү, эксперттен көз каранды	Жогорку, кайталануучу
Big Data менен иштөө	Кыйын	Натыйжалуу, негизи болуп саналат
Ишке ашыруунун наркы	Төмөн (эксперттердин эмгек акысы)	Жогорку (IT инфраструктурасы, персонал)
Прогноздоо күчү	Тажрыйбанын негизинде, көбүнчө жогорку сапаттагы	Сандык, текшерилүүчү

2. Маалыматтарды иштеп чыгууну экспоненциалдуу **4. Артыкчылыктары, чектөөлөрү жана өнүгүү перспективалары**

Артыкчылыктары:

1. Тактык жана объективдүүлүктү жогорулатуу: AI алгоритмдери адамдын субъективдүүлүгүн азайтат жана салттуу талдоо үчүн жеткиликсиз татаал, сызыктуу эмес мамилелерди аныктоого жөндөмдүү тездетүү: Күнүмдүк операцияларды автоматташтыруу (мисалы, сейсмикалык интерпретация) стратегиялык маселелерди чечүү үчүн геологдордун убактысын бошотот.

3. Финансылык тобокелдиктердин азайышы: Перспективдүү аймактарды так болжолдоо бургулоо жана геологиялык чалгындоо иштерине чыгымдарды оптималдаштырууга, ресурстарды эң мүмкүн болгон максаттарга бурууга мүмкүндүк берет.

4. Билим интеграциясы: ИСОД компанияда топтолгон ар кандай маалыматтарды жана тажрыйбаны бириктирүүгө мүмкүндүк берип, “корпоративдик эстутумду” түзөт.

**Чектөөлөр (ишке ашыруудагы кыйынчылыктар):**

1. Маалыматтын ачарчылыгы: Татаал ML моделдерин эффективдүү окутуу, өзгөчө терең үйрөнүү геологияда көп учурда жетишсиз болгон жогорку сапаттагы энбелгиленген маалыматтардын чоң көлөмүн талап кылат.

2. Так маалымат көйгөйү: Көптөгөн татаал моделдер (мисалы, терең нейрон тармактары) геолог үчүн өз божомолдору үчүн так түшүндүрмө бербейт, бул системага болгон ишенимди азайтат.

3. Жогорку баштапкы инвестициялар: IT инфраструктурасын түзүү, лицензияланган программалык камсыздоону сатып алуу жана квалификациялуу адистерди (маалымат таануучуларды) тартуу олуттуу капиталдык салымдарды талап кылат.

4. Кадр жетишсиздиги: Геология жана маалымат илими боюнча билими бар адистердин жетишсиздиги негизги тоскоолдуктардын бири болуп саналат.

**Өнүктүрүүнүн келечектүү багыттары:**

1. Талаалардын санариптик көчүрмөлөрү: ар кандай өндүрүш сценарийлерин симуляциялоого жана алардын кесепеттерин баалоого мүмкүндүк берүүчү бардык маалыматтарды жана моделдерди бириктирген объекттердин динамикалык, тынымсыз жаңыланып туруучу виртуалдык көчүрмөлөрүн түзүү.

2. Түшүндүрмө жасалма интеллект: геологдордун ишенимин арттырып, белгилүү бир чечимди кабыл алууга түрткөн спецификалык өзгөчөлүктөрдү жана моделдерди визуализациялоого жана түшүндүрүүгө мүмкүндүк берген методдорду иштеп чыгуу [6].

3. Активдүү окутуу жана өз алдынча үйрөнүү системалары: эң белгисиз аймактарда кошумча үйрөнүү үчүн маалыматтарды максаттуу түрдө сурай ала турган алгоритмдерди иштеп чыгуу, мисалы, кийинки чалгындоо скважиналары үчүн жерлерди сунуштоо.

4. Конвергенттик технологиялар: оперативдүү мониторинг жүргүзүү үчүн учкучсуз учуучу аппараттар менен ИСОД интеграциясы, роботтук бургулоо системалары жана реалдуу убакыт режиминде маалыматтарды чогултуу үчүн Интернет (IoT) технологиялары [9].

**Корутунду**

Изилдөөлөрдүн жыйынтыгы маалыматтарды иштеп чыгуунун интеллектуалдык системалары технологиялык тенденция эмес, геологиялык чалгындоо тармагы үчүн принципалдуу жаңы курал экенин көрсөттү. Жыйынтык субъективдүү, эксперт-интуитивдик парадигмадан сандык, маалыматтарга негизделген чечим кабыл алуу парадигмасына өтүүгө мүмкүндүк берет.

Маалыматтарга болгон талаптарга жана ишке ашырууга жогорку чыгымдарга байланыштуу болгон чектөөлөргө карабастан, ИСОД артыкчылыктары — жакшыртылган прогноздун тактыгы, тезирээк иштөө процесстери жана тобокелдиктерди азайтуу — аларды ишке ашырууну стратегиялык жактан керектүү деп эсептейт. Нефть-газ жана катуу пайдалуу кендер өнөр жайындагы ийгиликтүү аткарылып жаткан иштер алардын жогорку натыйжалуулугун көрсөтүп турат.

Өнүктүрүүнүн андан аркы этаптарында технологияларды тереңирээк интеграциялоону, атайын чечимдерден акырына чейин санариптик платформаларга өтүүнү жана үзгүлтүксүз өзүн-өзү үйрөнүүгө жана адаптациялоого жөндөмдүү автономдуу системаларды түзүүнү камтыйт. Бул толугу менен санариптик жана автоматташтырылган геологиялык чалгындоо иштерине жол ачат, бул оңой жетүүгө мүмкүн болгон ресурстардын түгөнүп бараткан шартында минералдык-сырьелук комплексти туруктуу өнүктүрүүнүн негизи жолу болуп саналат.

**Адабияттардын тизмеси:**

1. Zhou, Y., Esterle, J.S. & Dharam, C. Digital Rocks: A Review of Recent Developments in Data-Driven Mineral Exploration. *Natural Resources Research* 30, 3355–3375 (2021).
2. Иванов А.А. Интеллектуальные системы в геологоразведке: теория и практика. – М.: Наука, 2021. – 356 с.
3. Петров В.В., Сидоров К.К. Применение машинного обучения в анализе геофизических данных // *Геология и геофизика*. – 2022. – Т. 63. – № 7. – С. 845–860.
4. Смирнов Ю.П., Лавров С.А. Использование нейросетевых моделей в прогнозировании месторождений полезных ископаемых // *Вестник МГРИ*. – 2020. – № 6. – С. 45–53.
5. Сафронов В.В. ГИС-технологии в геологии и недропользовании. – Екатеринбург: УрО РАН, 2018. – 312 с.
6. Федоров А.А., Кузьмичев П.П. Искусственный интеллект в обработке геофизических данных // *Геофизика*. – 2021. – № 5. – С. 27–35.
7. Иванов А.А., Петров В.В. Применение методов машинного обучения для прогнозирования локализации золоторудных месторождений (на примере Восточно-Сибирского региона) // *Геология рудных месторождений*. – 2023. – Т. 65. – № 2. – С. 45–60.
8. Смирнов Ю.П., Лавров С.А. Алгоритмы глубокого обучения для автоматической интерпретации сейсмических данных при поисках углеводородов // *Геофизика*. – 2022. – № 4. – С. 50–58.
9. Козлов И.И. Стратегия построения цифрового месторождения: от Big Data к интеллектуальной платформе принятия решений // *Горный журнал*. – 2023. – № 1. – С. 45–51.

УДК 528.9:504.06

**Сопубеков Нематилла Абдилахатович,**  
*кандидат технических наук, профессор*  
**Зулпукаров Жакшылык Алибаевич,**  
*кандидат физико-математических наук, доцент*  
**Эркинбаева Назгуль Абдикаримовна,**  
*доцент*

**ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И МАТЕМАТИЧЕСКАЯ СТАТИСТИКА  
ДЛЯ АНАЛИЗА ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ДАННЫХ В ЭКОЛОГИИ И ГЕОГРАФИИ**

**Сопубеков Нематилла Абдилахатович,**  
*техника илимдеринин кандидаты, профессор*  
**Зулпукаров Жакшылык Алибаевич,**  
*физика-математика илимдеринин кандидаты, доцент*  
**Эркинбаева Назгуль Абдикаримовна,**  
*доцент*

**ЭКОЛОГИЯ ЖАНА ГЕОГРАФИЯДАГЫ МЕЙКИНДИК МААЛЫМАТТАРЫН ТАЛДОО ҮЧҮН  
ГЕОМААЛЫМАТТЫК ТУТУМДАР ЖАНА МАТЕМАТИКАЛЫК СТАТИСТИКА**

**Nematilla A. Sopubekov,**  
*candidate of technical sciences, professor*  
**Zhakshylyk A. Zulpukarov,**  
*candidate of physical and mathematical sciences, associate professor*  
**Nazgul A. Erkinbaeva**  
*associate professor*

**GEOINFORMATION SYSTEMS AND MATHEMATICAL STATISTICS  
FOR SPATIAL DATA ANALYSIS IN ECOLOGY AND GEOGRAPHY**

*Ошский технологический университет им. М.М. Адышева, Ош, Кыргызская Республика*  
*М.М.Адышева атындагы Ош технологиялык университети, Ош, Кыргыз Республикасы*  
*Osh Technological University named after M.M.Adyshev, Osh, Kyrgyz Republik*

**Аннотация.** В статье рассматривается применение геоинформационных систем (ГИС) и методов математической статистики для анализа пространственных данных в экологии и географии. Обосновывается необходимость интеграции ГИС-технологий с современными статистическими методами обработки информации. Приводятся примеры применения методов регрессионного анализа, кластеризации, корреляционного анализа и геостатистики для решения задач мониторинга и прогнозирования природных процессов. Представлены табличные модели анализа и мониторинга экологических данных.

**Ключевые слова:** ГИС, пространственные данные, математическая статистика, экология, география, моделирование, мониторинг.

**Аннотация.** Бул макалада экология жана географияда мейкиндик маалыматтарды талдоо үчүн географиялык маалыматтык системаларды (ГИС) жана математикалык статистика ыкмаларын колдонуу каралат. ГИС технологияларын маалыматтарды иштеп чыгуунун заманбап статистикалык ыкмалары менен интеграциялоонун зарылчылыгы негизделген. Табигый процесстерге мониторинг жана болжолдоо маселелерин чечүүдө регрессиялык ана-

лизди, кластердик, корреляциялык анализди жана геостатистиканы колдонуу мисалдары келтирилген. Экологиялык маалыматтарды талдоо жана мониторинг жүргүзүү үчүн таблица моделдери берилген.

**Ачкыч сөздөр:** ГИС, мейкиндик маалыматтары, математикалык статистика, экология, география, моделдөө, мониторинг.

**Annotation.** This article discusses the application of geoinformation systems and mathematical statistics methods for spatial data analysis in ecology and geography. The necessity of integrating GIS technologies with modern statistical methods of information processing is substantiated. Examples of the use of regression analysis, clustering, correlation analysis, and geostatistics methods for solving problems of monitoring and forecasting natural processes are given. Tabular models for the analysis and monitoring of environmental data are presented.

**Keywords:** GIS, spatial data, mathematical statistics, ecology, geography, modeling, monitoring.

**Актуальность.** Современные экологические и географические исследования характеризуются обработкой огромных объемов, пространственных данных, поступающих от сенсоров, метеостанций, сенсорных сетей, спутников дистанционного зондирования Земли и беспилотных систем наблюдения. Масштабы поступающей информации растут в геометрической прогрессии, что делает традиционные методы анализа и визуализации недостаточно эффективными. В этих условиях особую роль приобретает интеграция геоинформационных систем (ГИС) с математическими и статистическими методами обработки данных. Такое сочетание позволяет не только повысить точность моделирования и прогнозирования природных ресурсов, позволяющая повысить точность прогнозирования природных процессов, но и выявлять скрытые пространственно-временные зависимости, проводить многомасштабный анализ и формировать новые подходы к интерпретации экологических явлений [1].

Важным направлением развития этого научного направления становятся методы машинного обучения и искусственного интеллекта, которые способны автоматически распознавать сложные нелинейные зависимости в многомерных массивах пространственных данных. Так, алгоритмы классификации и кластеризации применяются для автоматического картографирования типов землепользования на основе спутниковых изображений, а регрессионные и нейросетевые модели — для прогнозирования распространения загрязняющих веществ в атмосфере, водных объектах и почвенном покрове. Использование таких подходов существенно

повышает информативность и оперативность анализа природных процессов.

Не менее значимым направлением является развитие технологий больших данных (Big Data), которые обеспечивают возможность работы с информацией в режиме, близком к реальному времени. Это создаёт предпосылки для формирования цифровых двойников природных систем - динамических моделей, непрерывно обновляемых поступающими данными. Такие системы становятся востребованным инструментом при решении задач устойчивого развития территорий, оценки рисков природных катастроф и выработки мер адаптации к изменению климата. Их внедрение способствует повышению эффективности управленческих решений на уровне государства, бизнеса и региональных структур.

Учитывая вышеуказанных, синтез геоинформационных технологий, методов математической статистики и инструментов анализа данных (Data Science) формирует новую парадигму пространственных исследований. Происходит переход от описательного анализа и ретроспективного моделирования геосистем к их прогностическому и предиктивному управлению, что открывает принципиально новые возможности для науки о земле и практической экологии.

**Методы исследования.** В данной работе мы применили комплексный подход, объединяющий возможности геоинформационных систем и методы математической статистики, что обеспечивает глубину и точность анализа пространственных данных.

В разделе ГИС-технологий используются инструменты пространственного анализа, включая буферизацию, наложение слоев и

цифровое моделирование рельефа для расчёта морфометрических показателей, таких как уклоны, экспозиции и индексы влажности. Здесь особое внимание уделено интеграции разнородных данных — векторных, растровых и атрибутивных — в единую геoinформационную модель, что позволяет создавать полное и согласованное представление о пространственных закономерностях исследуемых территорий.

А в математико-статистическом разделе этот блок включает корреляционный и регрессионный анализ для выявления и количественной оценки взаимосвязей между параметрами, алгоритмы кластеризации для определения пространственно однородных ареалов, а также методы геостатистики (кригинг, вариограммный анализ) для интерполяции и оценки пространственной автокорреляции. Дополнительно применяются методы анализа временных рядов для выявления трендов, сезонности и цикличности природных процессов [2,3].

В исследовании совместное использование ГИС и статистических инструментов создаёт синергетический эффект: появляется возможность перехода от статического описания к динамическому многовариантному моделированию природных процессов. Это, в свою очередь, позволяет открывает перспективы для сценарного прогнозирования их развития в пространственно-временном континууме и служит надёжной основой для принятия научно обоснованных управленческих решений в области экологии и географии.

**Практическое применение.** В исследованиях совместное использование геoinформационных систем и методов математической статистики нашло широкое применение в прикладных исследованиях и практических задачах, включая экологический мониторинг, оценку экологических рисков, градостроительное планирование, географические исследования и климатологическое моделирование [4,5,6].

Приведем конкретные примеры:

- Экологический мониторинг: формирование цифровых карт загрязнения атмосферы, почв и водных объектов на основе интерполяции данных с пунктов наблюдения с использованием методов геостатистики. Дополнительно алгоритмы машинного обучения позволяют автоматически выявлять изменения в землепользовании по спутниковым изображениям, обеспечивая оперативный контроль за состоянием окружающей среды.

- Оценка экологических рисков: пространственное моделирование зон потенциального затопления, оползней или последствий промышленных аварий. Статистический анализ позволяет рассчитывать вероятности наступления событий и оценивать уязвимость инфраструктуры, что особенно важно для планирования мероприятий по снижению рисков и защиты населения.

- Градостроительное планирование и умные города: анализ транспортных потоков и оптимизация размещения социальной инфраструктуры (школ, больниц). Использование многокритериального анализа с учётом экологических, социальных и экономических факторов помогает выявлять территории, перспективные для жилой и коммерческой застройки, обеспечивая устойчивое развитие городской среды.

- Географические исследования: изучение пространственных закономерностей распространения природных и социально-экономических явлений — от анализа биоразнообразия и миграций животных до моделирования рынков сбыта продукции и перемещений населения.

- Климатология и агромоделирование: анализ многолетних временных рядов спутниковых данных для выявления климатических трендов, прогнозирование урожайности сельскохозяйственных культур с учётом характеристик почв, осадков и температурного режима.

Используя и учитывая этих примеров составлена таблица с примерами практического применения.

Таблица 1. Примеры практического применения.

Область применения	Используемые методы	Пример результата
Мониторинг воздуха	Регрессия, корреляция	Карта концентрации загрязняющих веществ
Гидрология	Временные ряды, ГИС-анализ	Прогноз паводковых зон
Почвенные исследования	Геостатистика (кригинг)	Карта содержания тяжелых металлов
Лесные пожары	Анализ спутниковых данных	Моделирование риска возгорания
Урбанистика	Кластеризация, ГИС	Оптимизация градостроительных решений

Следовательно, интеграция ГИС и статистических методов создаёт мощный аналитический инструмент, позволяющий проводить комплексный анализ, моделировать природные и социально-экономические процессы и формировать научно обоснованную базу для принятия управленческих решений. Применение такие подходы способствует повышению эффективности планирования, прогнозирования и стратегического развития территорий.

**Анализ полученных данных.** Проведенные анализ пространственных данных с применением геоинформационных систем и методов математической статистики позволяет нам, выявлять пространственные закономерности, определять временные тенденции и строить прогностические модели. Такой подход способствует разработке целевых мер по снижению экологических рисков и формированию комплексных карт экологических показателей [6,7].

Использование ГИС и данные статистики превращает первые сырые данные в инструмент стратегического планирования. Аналитический процесс не ограничивается описанием текущего состояния окружающей среды: он позволяет выявлять движущие силы процессов, прогнозировать их развитие и принимать обоснованные управленческие решения.

Основные аналитические возможности включают:

1. Выявление скрытых пространственных закономерностей и аномалий. С помощью пространственной статистики,

например индексов Морана или кластерного анализа, можно объективно определить зоны статистически значимого скопления явлений — «горячие точки» загрязнения, ареалы повышенного биоразнообразия или территории с однородными социально-экономическими условиями.

2. Определение и количественная оценка временных тенденций. Анализ временных рядов данных дистанционного зондирования и наземных измерений позволяет отслеживать динамику природных и антропогенных процессов: деградацию лесов, урбанизацию территорий, изменение уровня водоёмов или концентрации парниковых газов в атмосфере.

3. Построение и верификация прогностических моделей. На основе выявленных взаимосвязей между факторами, такими как рельеф, землепользование и концентрация загрязняющих веществ, создаются регрессионные и машинные модели. Эти модели позволяют с высокой точностью прогнозировать развитие событий в различных сценариях, например распространение лесных пожаров или последствия паводковых ситуаций.

Практическая ценность анализа заключается в его прикладной направленности. Такие полученные результаты используются для:

- Разработки целевых мер по снижению экологических рисков, что позволяет сосредоточить ресурсы на наиболее уязвимых и критически важных территориях;
- Формирования комплексных темати-

ческих карт, объединяющих экологические, социальные и экономические показатели в единую информационную панель для при-

нятия управленческих решений. В таблице 2 указаны показатели экологического анализа.

**Таблица 2. Анализ экологических показателей**

Показатель	Метод анализа	Характер выявленной зависимости
Концентрация NO <sub>2</sub>	Корреляционный анализ	Рост показателя связан с плотностью транспортного трафика
Качество воды	Кластеризация	Выделение 3 групп рек по уровню загрязнения
Загрязнение почвы	Геостатистика	Локальные аномалии вблизи промышленных зон
Климатические изменения	РСА, временные ряды	Главный фактор – рост среднегодовой температуры
Рельеф	ГИС + регрессия	Зависимость эрозии почвы от уклона местности

Исходя из этого, синтез ГИС и статистических методов позволяет преобразовать разрозненные данные в системное знание, необходимое для реализации принципов устойчивого развития и адаптивного управления территориями. Такой подход обеспечивает научно обоснованную основу для прогнозирования и стратегического планирования в экологической, географической и градостроительной сферах.

**Результаты исследования.** По результатам исследования, проведенные анализы показали, что интеграция геоинформационных систем и методов математической статистики позволяет существенно повысить точность моделирования природных процессов и выявлять скрытые корреляции между экологическими факторами и техногенными нагрузками. В рамках исследования были построены пространственно-временные прогнозы развития природных систем, а также сформированы комплексные карты экологических рисков.

Полученные результаты имеют практическую значимость: они могут использоваться для планирования и управления территориями, разработки мероприятий по охране окружающей среды, а также оптимизации

систем экологического мониторинга. Такой подход обеспечивает научно обоснованную основу для принятия управленческих решений в области природопользования и устойчивого развития территорий.

**Заключение.** Подводя итогов интеграция геоинформационных систем и методов математической статистики является одним из наиболее перспективных направлений исследований в экологии и географии. Применение этих инструментов позволяет нам проводить комплексный анализ пространственных данных, выявлять скрытые закономерности, строить прогнозные модели и принимать обоснованные решения в сфере природопользования и охраны окружающей среды.

Использование возможности ГИС и данные статистики открывает новые возможности для научных исследований и практических приложений, включая экологический мониторинг, оценку рисков природных и техногенных воздействий, градостроительное планирование и адаптацию к изменениям климата. Это создаёт основу для более эффективного и стратегически обоснованного управления природными ресурсами и территориальными системами.

**Список литературы:**

1. Чертко Н.К., Карпиченко А.А. Математические методы в географии: учебно-методическое пособие. — Минск: БГУ, 2019.
2. Букаты М.Б. Геоинформационные системы и математическое моделирование. - Томск: Изд. ТПУ, 2019.
3. Парыгин Д.С., Игнатъев А.В., Садовникова Н.П., Гуртяков А.С. Геоинформационные системы: Учебно-методическое пособие. - Минск: БГУ, 2023.
4. Жуков В.Г., Сербенюк С.Н., Тикунов В.С. Математико-географическое моделирование в географии. - М.: Мысль, 2020.
5. Калинина В.Н., Панкин В.Ф. Математическая статистика: учебное пособие. - 4-е изд., испр. - М.: Дрофа, 2022.
6. Мельников Д.П. Геоинформационные технологии в экологическом мониторинге. - Екатеринбург: УрФУ, 2021.
7. Петрова Л.С. Методы статистического анализа экологических данных. - Казань: КФУ, 2019.

## **5-СЕКЦИЯ**

УДК 005

**Абдалиев Урмат Калмаматович**<sup>1</sup>,  
*кандидат технических наук, доцент*  
**Урмат кызы Жылдыз**<sup>2</sup>,  
*магистрант*

**ТЕКУЩЕЕ СОСТОЯНИЕ ПОДГОТОВКИ КАДРОВ В ОБЛАСТИ НАУЧНЫХ  
И ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЯХ  
КЫРГЫЗСТАНА**

**Абдалиев Урмат Калмаматович**<sup>1</sup>,  
*техника илимдеринин кандидаты, доцент*  
**Урмат кызы Жылдыз**<sup>2</sup>,  
*магистрант*

**КЫРГЫЗСТАНДЫН ЖОГОРКУ ОКУУ ЖАЙЛАРЫНДА  
ИЛИМИЙ ИННОВАЦИЯЛЫК ТЕХНОЛОГИЯЛАР БАГЫТЫНДА  
КАДРЛАРДЫ ДАЯРДООНУН УЧУРДАГЫ АБАЛЫ**

**AbdalievUrmatKalmamatovich**<sup>1</sup>,  
*Senior Researcher*  
**Urmat kyzy Zhyldyz**<sup>2</sup>,  
*master's*

**THE CURRENT STATE OF TRAINING SPECIALISTS IN SCIENTIFIC  
AND INNOVATIVE TECHNOLOGIES IN KYRGYZSTAN'S HIGHER EDUCATION INSTITUTIONS**

<sup>1</sup>*Ошский технологический университет им. М.М. Адышева,  
Ош, Кыргызская Республика*

<sup>2</sup>*Ошского государственного университета, Ош, Кыргызская Республика*

<sup>1</sup>*М.М. Адышев ат. Ош технологиялык университети, Ош, Кыргыз Республикасы*

<sup>2</sup>*Ош мамлекеттик университети, Ош, Кыргыз Республикасы*

<sup>1</sup>*Osh Technological University named after. M.M. Adysheva, Osh, Kyrgyz Republik*

<sup>2</sup>*Osh State University, Osh, Kyrgyz Republik*

**Аннотация.** В данной статье подчеркивается, что подготовка кадров в высших учебных заведениях (ВУЗах) Кыргызстана в области научных инновационных технологий (в частности, искусственного интеллекта – ИИ, цифровых технологий, робототехники и STEM – науки, технологий, инженерии, математики, информационных технологий, зеленых технологий) является ключевым элементом Национальной стратегии развития. Особое внимание уделяется программам PhD, а также анализируется состояние системы по состоянию на 2025 год. Через Стратегию развития образования (EDS-2040) и Концепцию (EDC-2030) рассматривается задача усиления научно-исследовательской деятельности в ВУЗах, внедрения ИИ и цифровых технологий в образовательный процесс. Национальная программа развития до 2026 года акцентирует внимание на укреплении научного потенциала ВУЗов, поскольку исследования необходимы для обеспечения актуальности знаний. В качестве методологии использованы анализ документов и статистические данные. Результаты анализа показывают, что научные инновационные технологии способствуют созданию экономики, основанной на знаниях, однако требуется дальнейшее углубление реформ.

**Ключевые слова:** программы PhD, наука, инновации, ВУЗы, Эразмус+, подготовка кадров, реформы образования.

**Аннотация.** Бул макалада Кыргызстандын жогорку окуу жайларында (ЖОЖ) илимий инновациялык технологиялар (айрыкча жасалма интеллект – AI, санариптик технологиялар, робототехника жана STEM – илим, технология, инженерия, математика, IT, жашыл технологиялар) багытында кадрларды даярдоо Улуттук өнүгүү стратегиясынын негизги элементи экендиги белгиленип, PhD программаларына басым жасалып, 2025-жылга карата системанын абалы талданды. Билим берүүнү өнүктүрүү стратегиясы (EDS-2040) жана концепциясы (EDC-2030) аркылуу ЖОЖдорго илимий-изилдөө иштерин күчөтүү, AI жана санариптик технологияларды окутууга киргизүү милдети талданып, 2026-жылга чейинки Улуттук өнүгүү программасы ЖОЖдордун илимий потенциалын күчөтүүгө басым жасалып жаткандыгы, анткени билимдердин актуалдуулугун камсыз кылуу үчүн изилдөөлөр зарыл экендиги белгиленген. Методология катары документтерди талдоо жана статистикалык маалыматтар колдонулган. Талдоонун жыйынтыгында илимий инновациялык технологиялар билимге негизделген экономиканы курууга өбөлгө түзөрү, бирок реформаларды тереңдетүү зарылдыгы белгиленген.

**Ачкыч сөздөр:** PhD программалары, илим, инновациялар, ЖОЖ, Эразмус+, кадрларды даярдоо, билим реформалары.

**Annotation.** This article highlights that the training of specialists in Kyrgyzstan's higher education institutions (HEIs) in the field of scientific and innovative technologies (particularly artificial intelligence – AI, digital technologies, robotics, and STEM – science, technology, engineering, mathematics, IT, and green technologies) is a key component of the National Development Strategy. Emphasis is placed on PhD programs, with an analysis of the system's state as of 2025. Through the Education Development Strategy (EDS-2040) and Concept (EDC-2030), the task of strengthening research activities in HEIs and integrating AI and digital technologies into education is examined. The National Development Program until 2026 prioritizes enhancing the scientific potential of HEIs, as research is essential to ensure the relevance of knowledge. The methodology includes document analysis and statistical data. The analysis concludes that scientific and innovative technologies contribute to building a knowledge-based economy, but further deepening of reforms is necessary.

**Keywords:** PhD programs, science, innovation, HEIs, Erasmus+, specialist training, education reforms.

### Киришүү

Кыргызстандын билим берүү системасы глобалдашкан дүйнөдө билимге негизделген экономиканы курууга өтүүдө чоң роль ойнойт. Илимий инновациялык технологиялар – IT, AI (жасалма интеллект), жашыл энергетика жана климаттык илимдер – өлкөнүн өнүгүүсүнүн артыкчылыктуу багыттары катары белгиленген [1]. PhD программалары бул процесстин өзөгү болуп, илимий жана илимий-педагогикалык кадрларды даярдоого багытталган.

Кыргызстандын жогорку окуу жайларында (ЖОЖ) илимий инновациялык технологиялар боюнча кадрларды даярдоо – бул өлкөнүн санариптик трансформациясынын жана туруктуу өнүгүүсүнүн негизги локомотиви. 2025-

жылы Кыргызстандын билим берүү жана илим тармагы жаңы этапка өттү. Жаңы түзүлгөн Илим, жогорку билим берүү жана инновациялар министрлиги илимий изилдөөлөрдү жана кадрларды даярдоону координациялап, Кыргызстандын жогорку билим берүү системасында илимий инновациялык технологиялар боюнча кадрларды даярдоонун абалын динамикалуу өнүгүүгө багыттады, бирок бир катар чакырыктар менен коштолууда.

Билим берүүнү өнүктүрүү стратегиясы (EDS-2040) жана концепциясы (EDC-2030) аркылуу ЖОЖдорго илимий-изилдөө иштерин күчөтүү, AI жана санариптик технологияларды окутууга киргизүү милдети коюлган. 2026-жылга чейинки Улуттук өнүгүү программасы ЖОЖдордун илимий

потенциалын күчөтүүгө басым жасайт, анткени билимдердин актуалдуулугун камсыз кылуу үчүн изилдөөлөр зарыл.

2025-жылы глобалдык экономикада илимий инновациялардын ролу күчөдү: Дүйнөлүк банктын отчету боюнча, AI (жасалма интеллект) жана санариптик технологиялар өлкөлөрдүн ИДПсын 15-20%га өстүрөт, бирок кадрлардын жетишсиздиги – негизги тоскоолдук. Кыргызстан үчүн бул актуалдуу: “Digital Kyrgyzstan 2024-2028” концепциясынын алкагында санариптик экономика 2030-жылга чейин 25%га жетүүгө тийиш, бул 50 000ден ашык IT-адис талап кылат [2]. Жаңы министрлик илимге ИДПнын 0,5%ын бөлүүнү көздөйт, бул кадрларды даярдоого инвестицияларды көбөйтөт. Актуалдуулугу жаштардын жумушсуздугун (20%) жана миграцияны (жыл сайын 100 000 адам) азайтуу: инновациялык кадрлар өлкөнү Борбордук Азиянын IT-хабына айландырат.

Бул макаланын максаты – ЖОЖдордо STEM багытында кадрларды даярдоонун абалын тереңдетип талдоо, PhD программаларынын ролун аныктоо жана келечекке сунуштарды берүү.

Илимий инновациялык технологияларды даярдоонун теориялык базасы – Болон процессинин принциптерине негизделген: үч деңгээлдүү система (бакалавр, магистр, PhD) жана ECTS кредиттери. Кыргызстанда бул “Билим берүүнү өнүктүрүү концепциясы 2021-2030” (EDC-2030) менен толукталат, ал билимди илим менен интеграциялоону талап кылат [3]. Моделдер: “University 4.0” – ЖОЖдорду автономиялык кылып, инновациялык экосистеманы түзөт; “STEM-

модель” – илим, технология, инженерия, математика тармактарын бириктирет. Кыргызстанда бул “ЖОЖдор – инноваторлор” долбоору аркылуу ишке ашат, ал кадрларды рынок талаптарына ылайыкташтырат. Теориялык жактан, кадрларды даярдоо – бул теориялык билимди практикалык изилдөөлөр менен айкалыштыруу: мисалы, AIде 70% окутуу долбоорлорго негизделген [4].

Улуттук стратегиялар жана реформалар Кыргызстандын улуттук программасы 2026-жылга чейин ЖОЖдордун илимий багытын күчөтүүгө милдеттендирет: билимдердин актуалдуулугун камсыз кылуу үчүн изилдөөлөрдү интеграциялоо зарыл. EDS-2040 стратегиясы окуу программаларынын 70% мамлекеттик компоненттен 30-40%га чейин азайтууну карайт, бул инновацияларга орун ачат. 2025-жылы 12 ЖОЖдо AI адистигине 572 студент кабыл алынган, бул өсүштү көрсөтөт. Бул реформалар эффективдүү, бирок пандемиянын сабагы – онлайн-окуунун начардыгы (мектептерде 40% компьютерсиз) – ЖОЖдорго да таасир этет. Жаңы министрлик интеллектуалдык мүлктү жана инновацияларды координациялоо менен бирге кадрларды даярдоого €10 млн. гранттарды тартууну пландоодо [5].

Бүгүнкү күндө Кыргызстанда 79 ЖОЖ (42 мамлекеттик) иштейт, алардын 60%ы STEM багыттарын камтыйт. 2025-жылы гранттар 6000ден ашты (2022ге караганда +20%), PhD орундары 300гө жетти. Бардык ЖОЖдо англис тилинде окууга басым жасалууда. Бул аракет илимий инновациялык технологиялар багытындагы адистерди даярдоого чоң кадам.

Аспект	2020-жыл	2025-жыл	Өзгөрүү (%)
ЖОЖ саны	70	79	+12,8
Гранттар	4500	6000+	+33
PhDорундары (STEM)	80	300	+275
Каржылоо	0,12	0,2	+67

Негизги лидерлер деп саналган ЖОЖдор: КМТУ (AI, робототехника; QS Asia 381-орун)[7], ОшТУ (биотехнология, биореактор 2025-жылы ишке киргизилген, университет QS Stars эл аралык рейтингинде 4 жылдыз статусуна ээ болуп, сапаттуу билим берүү

жана илимий-изилдөө ишмердиги боюнча жогорку баа алды)[8], КУУ (илимий борборлор)[9], ОшМУ (IT Academy, QS 260-орун)[10]. Мисалы, ОшТУда Erasmus+ аркылуу «Green Digital Creator» хакатону 2025-жылы €10 000 грант менен утуп, мобилдик аппараттарды иштеп чыкты.

ЖОЖ	Программа	Мазмуну	Студенттер саны (2025)
КМТУ	AI жана робототехника	Практикалык лабораториялар, LuVan цехтери	800+
ОшТУ	Биотехнология жана AI	Биореактор, санариптик чечимдер	500+
КУУ	Инновациялык технологиялар	Илимий изилдөөлөр, Ph D	600+
ОшМУ	Киберкоопсуздук	Cyber4CA долбоору менен	400+

Бул таблица программалардын практикалык багытын көрсөтөт: 60% окутуу долбоорлорго негизделген.

2025-жылы Кыргызстан 5 жаңы Erasmus+ CBHE долбооруна катышат: MANAS E-LAB (студенттик ишкердик), DIGITECH (санариптик өндүрүш), D-TIDE-KG (доктордук билим), Cyber4CA (киберкоопсуздук), GreenCA (жашыл суу билими). Бул долбоорлор кадрларды даярдоого €5 млн инвестиция тартат, мисалы, DIGITECH өндүрүштү санариптештирүүгө адистерди окутат. Дүйнөлүк банктын \$25 млн долбоору сапатты жогорулатып, инновациялык фонд түзөт.

2025-жылы AI чөйрөсүндө 1000ден ашык эксперт даярдалды, AIDA ассоциациясы түзүлдү. ОшТУнун биореактору биомасса өстүрүүгө инновация алып келди, КМТУнун AI борбору 50 патент каттады. Академиялык

инновациялык фонд (AIF) 18-июлда 2025-жылы илимий долбоорлорго €2 млн гранттарды таратты. QS Asia рейтингинде 3 университет топ-400гө кирди.

**Талдоо жана себептер.** Кыргызстанда илимге ИДПнын 0,08% гана бөлүнөт, окутуучулардын айлыгы төмөн (орточо 20 000 сом), лабораториялардын 80% эскирген. Себептери: өндүрүштүн көрсөткүчү төмөн жана бюджет чектелүү. Жыйынтыгында миграция күчөйт (жыл сайын болжол менен 20% адис четке кетет). Эгерде 2030-жылга чейин илимге 0,5% ИДП бөлүнсө, AI жөнгө салынат.

Кыргызстанда AI программалары 12 ЖОЖдо, ал эми Казакстанда 50ден ашык. Бирок, Erasmus+ катышуу багытында лидер биз. Тажикстан стипендиялар аркылуу кадрларды тартса, Кыргызстан долбоорлор менен кадрларды тартууда.

Өлкө	AI программалары	Финансылуу (% ИДП)	Эл аралык долбоорлор
Кыргызстан	12 ЖОЖ	0,08%	5 Erasmus+ (2025)
Казакстан	50+	0,3%	20+
Тажикстан	8	0,05%	Стипендиялар

### Жыйынтык

Кыргызстандын ЖОЖдорунда илимий инновациялык технологиялар боюнча кадрларды даярдоо динамикалуу өнүгүүдө: жаңы министрлик, Erasmus+ долбоорлору жана реформалар келечекти ачып берет. Жогорку билим берүү системасы илимий инновациялык технологиялар (STEM, IT, жашыл технологиялар, AI ж.б.) багытында кадрларды,

анын ичинде PhD деңгээлинде даярдоого багытталган реформаларды улантууда, бирок системалык чакырыктар дагы эле актуалдуу бойдон калууда. Ошондуктан инвестицияларды көбөйтүү жана чакырыктарды жеңүү зарыл. Бул тармактын күчөшү жаштардын келечегин жана өлкөнүн глобалдык позициясын аныктайт, өлкөнү инновациялык лидерге айлантат, жаштарга мүмкүнчүлүктөрдү берет.

**Колдонулган адабияттар:**

1. Туруктуу өнүктүрүүнүн улуттук стратегиясы (НСУР-2040, 2021.). <https://stat.gov.kg/ru/nsur/>
2. 2030-жылга чейин Кыргыз Республикасын өнүктүрүүнүн улуттук программасы. <https://stat.gov.kg/media/files/be5becf3-90e9-451c-8234-7c791c9dc88b.pdf>
3. Кыргыз Республикасында билим берүүнү 2021–2030- жылдарга карата өнүктүрүүнүн концепциясы. <https://edu.gov.kg/media/files/3ae0adc0-2c9b-4014-9ee5-af90ce612959.pdf>
4. Университет 4.0. Вузы Кыргызстана станут центрами инновации. [https://24.kg/ob-schestvo/196822\\_universitet40\\_vuzyi\\_kyrgyzstana\\_stanut\\_tsentrami\\_innovatsii/](https://24.kg/ob-schestvo/196822_universitet40_vuzyi_kyrgyzstana_stanut_tsentrami_innovatsii/)
5. 2021-2040-жылдарга билим берүүнүн өнүктүрүү программасы. <https://edu.gov.kg/programs/1/>
6. Erasmus+. (2025). СВНЕ долбоорлору. [erasmusplus.kg](http://erasmusplus.kg).
7. КМТУ. <https://kstu.kg/ky/>
8. ОшТУ. <https://oshtu.kg/>
9. КУУ. <https://www.knu.kg/ky/ru/>
10. ОшМУ. PhD программалары. [oshsu.kg](http://oshsu.kg).

УДК. 629.113.004

**Адилов Окбута Каримович<sup>1</sup>,**  
*кандидат технических наук, профессор*  
**Абдукаримов Шахзод Октамоглы<sup>2</sup>,**  
*научный сотрудник*  
**Джакыпжанова Вахидилхан Саипжановна<sup>3</sup>,**  
*доцент*  
**Базарбаев Бабомурад Ражабогли<sup>4</sup>,**  
*преподаватель*

### **АНАЛИЗ УСТОЙЧИВОСТИ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ В МУНИЦИПАЛЬНЫХ ОБРАЗОВАНИЯХ ЗАМИНСКИХ САНАТОРИЙ**

**Адилов Окбута Каримович<sup>1</sup>,**  
*техника илимдеринин кандидаты, профессор*  
**Абдукаримов Шахзод Октамоглы<sup>2</sup>,**  
*илимий кызматкер*  
**Джакыпжанова Вахидилхан Саипжановна<sup>3</sup>,**  
*доцент*  
**Базарбаев Бабомурад Ражабогли<sup>4</sup>,**  
*окутуучу*

### **ЗАМИНСК САНАТОРИЯЛАРЫНДАГЫ ТРАНСПОРТ СИСТЕМАЛАРЫНЫН ТУРУКТУУЛУГУН ТАЛДОО**

**Adilov Okbuta Karimovich<sup>1</sup>,**  
*Candidate of Technical Sciences, Professor,*  
**Abdukarimov Shakhzod Oktamogly<sup>2</sup>,**  
*Researcher*  
**Dzhakypzhanova Vahidilkhan Saipzhanovna<sup>3</sup>,**  
*Associate Professor, Docent, lecturer*  
**Bazarbayev Babomurad Rajab ogli<sup>4</sup>,**  
*Lecturer*

### **ANALYSIS OF THE SUSTAINABILITY OF TRANSPORT SYSTEMS IN THE MUNICIPALITIES OF ZAMINSK SANATORIIUMS.**

<sup>1</sup>Джиззакский политехнический институт, Джизак, Республика Узбекистан

<sup>2</sup>Джиззакский политехнический институт, Джизак, Республика Узбекистан

<sup>3</sup>Ошский технологический университет им. М.М. Адышева, Ош, Кыргызская Республика

<sup>4</sup>2-политехникум Галлааральского района, Республика Узбекистан

<sup>1</sup>Джиззак политехникалык институту, Джизак, Өзбекистан Республикасы

<sup>2</sup>Джиззак политехникалык институту, Джизак, Өзбекистан Республикасы

<sup>3</sup>М.М. Адышев ат. Ош технологиялык университети, Ош, Кыргыз Республикасы

<sup>4</sup>2-Галлаарал райондук политехникуму, Галлаарал району, Өзбекистан Республикасы

<sup>1</sup>Jizzakh Polytechnic Institute, Jizzakh, Republic of Uzbekistan.

<sup>2</sup>Jizzakh Polytechnic Institute, Jizzakh, Republic of Uzbekistan

<sup>3</sup>Osh Technological University named after M.M. Adyshev, Osh, Kyrgyz Republic

<sup>4</sup>Lecturer of the 2nd Polytechnic School, Gallaaral District, Uzbekistan

**Аннотация.** В работе проведен анализ функционирования пассажирского транспорта в муниципальных образованиях курортных зон. Рекомендации, разработанные в данной статье, во многом основаны на том, что в Зоминском санатории приватизировано большинство объектов общественного транспорта, появилось большое количество индивидуальных перевозчиков и малых частных предприятий, которые занимаются организацией пассажирских перевозок, и в связи с этим необходимость рассмотрения системы управления пассажирским транспортом в районе с учетом ее уникальности и особенностей. В этом случае формирование основных целей и задач послужит повышению активности по обеспечению спроса.

**Ключевые слова:** автомобиль, технических обслуживания, качество, гарантия, показатели, количество, пассажиры, санатория.

**Аннотация.** Бул эмгекте курорттук аймактардагы муниципалитеттерде жүргүнчүлөрдү ташуучу транспорттун иштеши талданат. Бул макалада иштелип чыккан сунуштар негизинен Зомин санаторийинде коомдук транспорттун көпчүлүк объектилери менчиктештирилип кеткендигине жана көп сандагы жеке жүк ташуучулар жана жүргүнчүлөрдү ташууну уюштуруу менен алектенген чакан жеке ишканалар пайда болгондугуна негизделген, демек, жүргүнчүлөрдү ташууну башкаруунун региондук системасын анын уникалдуу жана спецификалык өзгөчөлүктөрүн эске алуу менен карап чыгуу зарылчылыгы айтылды. Бул учурда негизги максаттарды жана милдеттерди белгилөө суроо-талапты канааттандыруу үчүн күч-аракетти жогорулатууга кызмат кылат.

**Негизги сөздөр:** унаа, техникалык тейлөө, сапат, кепилдик, көрсөткүчтөр, сан, жүргүнчүлөр, санаторий.

**Abstract.** The paper analyzes the functioning of passenger transport in municipalities of resort areas. The recommendations developed in this article are mainly based on the fact that most public transport facilities have been privatized in the Zomin health center, a large number of individual carriers and small private enterprises have appeared, which are engaged in the organization of passenger transport, and in this regard, the need to consider the passenger transport management system in the area, taking into account its uniqueness and characteristics. In this case, the formation of the main goals and tasks that arise will serve to increase the activity in providing the demand.

**Key words:** car, traffic safety, traffic, traffic signs, dangerous site.

Процесс интенсивной автомобилизации - неизбежность нынешнего витка истории. И Узбекистан этой точкой зрения - не исключение. Согласно оценкам специалистов, к 2030 г. семь из десяти российских семей будут иметь собственный автомобиль. Однако автомобилизация, как и любая «медаль», имеет две стороны. На первых этапах она дает людям одни плюсы: экономит время, предоставляет свободу выбора маршрутов передвижения, повышает скорость и комфортность поездок, а также надежность и безопасность перевозки пассажиров с высоким уровнем информационного обслуживания. Однако затем, проявляются системные отрицательные последствия - неуправляемый рост потребления не возобновляемых ресурсов, гибель и ранения людей в ДТП, загрязнение окружающей среды, перегрузка дорожной сети, очень

большие затраты на содержание и развитие объектов транспортной инфраструктуры и т.д. Причем найти компромисс между возможностями, которые дает автомобиль обществу и экономике, и негативными последствиями, сопутствующими процессу автомобилизации, пока никому до сих пор так и не удалось. Более того, если раньше от нее страдали города-мегаполисы, то в настоящее время - и города с гораздо меньшей численностью населения, особенно в санаторных зонах. Поэтому анализ состояния транспортной системы только одного города-санатория и его транспортные проблемы можно назвать типичными для центров муниципальных образований санаторных курортных зонах и в Джизаке в целом.

Для таких центров характерен высокий уровень интеграции с подведомственными

населенными пунктами (дома отдыха, санатории, лечебные учреждения и др.), в результате чего, часть жителей и отдыхающих работают именно в центре, где создают вместе с его жителями «дневное население». Причем в последние годы структура транспортной подвижности и того, и другого явно сместилась с общественного транспорта в пользу личного автомобиля, которым осваивается от 45 до 52 % объемов перевозок и более.

Пассажирская транспортная система - это сложный комплекс интегрального взаимодействия транспорта, производящего перевозочную услугу, транспортной инфраструктуры (улично-дорожная сеть, транспортно-пересадочные узлы, остановки, вокзалы и станции, объекты сопутствующего сервиса, обеспечивающие ТО и Р транспорта, диагностику, заправку и др., а также автотранспортные предприятия), населения и отдыхающих, которые пользуются пассажирским транспортом с целью перемещения к месту назначения, технологий перевозочных процессов. В муниципальных образованиях курортных зон общему движению мешают узкие, без возможности расширения улицы и дороги, недостаточная пропускная способность магистральных входов в город и др. Слабая связь «спальных» районов с центром за счет недостаточного количества общественного пассажирского транспорта (ОПТ) увеличивает число легковых автомобилей на улицах.

Наконец, проблема парковки различного подвижного состава: припаркованные автомобили превращают улицы в «игольное ушко», что снижает пропускную способность улично-дорожной сети (УДС).

Такова общая закономерность. Но в каждом курортном городе есть и свои специфические особенности. Скажем, улично-дорожная сеть Замина построена по прямоугольной схеме, что несколько упрощает организацию транспортных потоков, среди которых движутся и маршрутные автобусы.

В старых городах эта сеть, как правило, радиально-окружная - со всеми вытекающими отсюда последствиями - роста автомобильного парка.

В г. Замина есть и свои минусы: через центр города проходит железная дорога, что весьма затрудняет сообщение между западной и восточной частями города. Очевидно, что полная компенсация увеличивающегося разрыва между ростом парка автомобилей, прежде всего легковых, и развитием УДС невозможно, в принципе, потому что площади, которые могут быть отведены в таких городах для строительства дорог и парковок автомобилей, представляют собой объективно ограниченный ресурс.

Тем более, что по мере роста нагрузки на УДС нарастает конфликт между грузовым и пассажирским автомобильным транспортом. Причем конфликт больше психологический. Владельцы личных легковых автомобилей видят в грузовом автотранспорте, особенно в большегрузных поездах, прежде всего помеху движению именно им.

Но избавиться от грузовых автомобилей не получится: именно они доставляют городским курортным потребителям все, что необходимо для нормальной их жизнедеятельности. Поэтому владельцы грузовых автомобилей тоже правы, когда говорят, что снижение скорости движения на дорогах, длительные заторы реально снижают эффективность транспортного обеспечения города, повышают транспортные издержки.

Не лучше положение и у городского пассажирского транспорта (ГПТ): перегруженность улично-дорожной сети затрудняет его движение в общем потоке, приводит к срывам расписаний, задержкам подачи подвижного состава.

Если же учесть и другие его проблемы (изношенность подвижного состава, недостаток средств на закупку современных автобусов, текучесть кадров: водителей и ремонтных рабочих), то картина получается довольно мрачной. Конечно, строительство кольцевых объездных дорог несколько облегчает положение, но только городов, стоящих у магистралей общегосударственного значения: такие дороги строят за счет государственного бюджета. Остальным же региональным центрам, в том числе и городам курортных зон, естественно, это строительство не по силам. Нарастающая автомобилизация

способствует, как сказано выше, росту числа ДТП и негативному экологическому воздействию на окружающую среду. Например, в Анапе число ДТП увеличивается на 8-10 % в год. А о загрязнении атмосферного воздуха токсичными веществами и уровне транспортного шума даже говорить не приходится - они, по сравнению с 2010-ми годами возросли на порядок. Таким образом, можно констатировать, что неконтролируемая автомобилизация стала все усугубляющейся системной проблемой не только для мегаполисов.

Вынужденное ограничение транспортной подвижности населения и отдыхающих, снижение транспортной доступности к объектам отдыха, неизбежно ограничивает экономический рост городов-курортов, снижают их инвестиционную привлекательность и приток отдыхающих.

Разрабатываемые программы ставят такие задачи как: разработка генеральных схем инженерного обеспечения; реконструкция центральной части города с сохранением его исторического облика: озеленение; расширение объектов для отдыха и лечения и др. Задача же капитального ремонта и реконструкции объектов дорожно-мостового хозяйства, по сути, затерялась в списке других задач и предусматривает только расширение существующих дорог.

То есть даже в планах совершенствование транспортной сети значительно отстает от темпов автомобилизации. Но главное, планы улучшения условий движения реализуются бессистемно, потому существующие дороги могут превратиться в автостоянки. Точечная же реконструкция отдельных городских кварталов проблему пробок переносит в соседние кварталы.

Развитие транспортного обслуживания населения санаторных зон недостаточное: протяженность линии общественного транспорта возрастает на перспективу 3-5 лет на 1-2 %, а по подвижному составу на 0,5 - 1%. Дополнительно в проектах не заложены: изменения структуры пассажиропотоков в пользу общественного транспорта; нет дополнительных ограничений использования легковых автомобилей, как в центральной части, так и во всем городе и

прилегающих к нему курортным местам; отсутствуют специальные документы и разработки, определяющие собственно транспортную политику курортных городов и т.п.

В ноябре 2018 г. Правительством Республики Узбекистан был принят документ о стратегии развития транспорта до 2030 года, где констатировалось, что узбекская экономика, в том числе и транспорт, оказалась также в мировом финансовом кризисе, требующего системного выбора, характер и качество которого определяются в следующем:

- 1) усиление глобальной и региональной конкуренции;
- 2) необходимость использования нанотехнологий в пассажирских перевозочных процессах;
- 3) необходимость создания региональных транспортных союзов, обеспечивающих контроль за качеством оказываемых транспортных услуг;
- 4) обеспечение сильных транспортных позиций по видам сообщений на основе создания транспортных центров.

В качестве ограничений по оказанию качественных транспортных услуг должны выступать нормативные уровни обеспечения безопасности перевозок и охраны окружающей среды. В настоящее время автомобильный транспорт обеспечивает 77% от общего объема грузоперевозок (6,7 млрд. тонн в год) и 60% пассажирских перевозок (26,8 млрд. пасс. в год). Как следствие, возрастает доля перевозок личными автомобилями в общем объеме пассажирских перевозок (в городах она достигает 20% и более).

Такие показатели, как уровень обеспечения транспортной подвижности и уровень транспортной доступности, становятся важнейшими показателями качества жизни населения, особенно в крупных и крупнейших городах Узбекистана, в том числе и городах курортных зон. Рост объемов автомобильных перевозок происходит в условиях отставания темпов развития дорожной инфраструктуры.

В результате перегруженности улично-дорожных сетей в городах и на подходах к ним снижаются скорость и регулярность доставки грузов и пассажиров. Снижение

скоростей движения, в свою очередь, ведёт к повышению на 20-30% себестоимости перевозок, росту транспортной составляющей в конечной стоимости продукции и услуг. Транспортная составляющая в конечной цене российской продукции достигает 15-20%, а в США и Европе этот показатель не превышает 7-10%, т.е. вдвое ниже (подчеркивает [www.securpress.ru](http://www.securpress.ru)- Российское информационное агентство).

Рост задержек при перевозках пассажиров ведёт к резкому увеличению потерь свободного времени населения, снижению качества его жизни, что порождает социальную напряжённость.

В настоящее время в крупных Джизакский городах участники дорожного движения теряют в течение суток 30-60 и более минут своего времени из-за низких скоростей движения и простоев в случае возникновения транспортных заторов. Ввиду высокой загруженности УДС, скорости общественного пассажирского транспорта (ОПТ) сегодня на 20-40% ниже нормативных.

Интервалы движения наземного ОПТ в часы «пик» из-за заторов на 65% маршрутах превышают 15 мин.

При этом основные направления устойчивого развития и функционирования пассажирского автомобильного транспорта (ПАТ) общего пользования на период до 2030 года включают:

1. Решение проблем функционирования и государственной поддержки пассажирской транспортной деятельности.

2. Разработка нормативно-правового, методического и научно-технического обеспечения, учитывающего четкое распределение прав, ответственности и рисков в области пассажирских перевозок.

3. Совершенствование технической основы и базы ПАТ с разработкой типовой документации.

4. Модернизация и создание систем сертификации, лицензирования и отраслевой стандартизации.

5. Формирование и развитие дорожно-транспортной инфраструктуры.

6. Разработка прогрессивных перевозочных процессов.

7. Повышение безопасности дорожного движения, антитеррористической защищен-

ности и экологичности на транспорте.

8. Разработка и внедрение интеллектуальных транспортных систем и систем управления транспортом.

Функционирование эксплуатации ПАТ должно происходить за счет:

- поступления от взимания платы за пользование транспортом;

- доходов от коммерческой деятельности (реклама, сдача в аренду, операции с недвижимостью и т.д.);

- компенсации за предоставление льготных тарифов или за выполнение обязательств социального или регионального характера;

- любых других средств, поступающих от государственных или муниципальных структур;

- введения обоснованных тарифов в соответствии с политическими целями и рядом причин экономического, социального и экологического характера;

- дополнительного финансирования за транспортное обслуживание в ночное время, обслуживание инвалидов, обслуживание пассажиров в сельской местности, введение бесплатного проезда или льготных тарифов;

- установления сбалансированного соотношения при конкуренции между общественным транспортом и личными автомобилями, что способствует изменению структуры спроса на поездки в пользу общественного транспорта;

- компенсации за издержки, понесенные обществом от тех, кто загрязняет окружающую среду (экологические налоги на использование и владение личным автомобилем, взимания платы за стоянку);

- введения закона, согласно которому предприниматели, имеющие более десяти работников, обязаны вносить свой вклад в расходы общественного транспорта;

- земельной прибавочной стоимости, полученной в ходе развития регулярной маршрутной сети и доходов от аренды и продажи жилья, находящегося с вновь открываемыми остановочными пунктами;

- дорожных сборов, поступающих от владельцев автомобилей, создающих пробки на дорогах, приводящих к использованию менее загруженных участков улично-дорожной сети (УДС);

- платы за въезд в определенные городские кварталы, что будет способствовать более интенсивному использованию общественного транспорта и росту его доходов;

- внесения налога в пользу общественного транспорта от участия предпринимателей в оплате проездных билетов для своих сотрудников, а также в реализации планов обеспечения мобильности, связанной с увеличением частоты движения общественного транспорта или с организацией продолжения регулярных маршрутов, идущих к месту расположения предприятия или крупного торгового центра. Реализация предложенных финансовых рекомендаций будет стимулировать переход к использованию общественного транспорта, особенно автомобильного, что позволит значительно уменьшить (до 30%) перегруженность дорог и экологический ущерб, причиняемый автобусами.

В большинстве случаев автобусный транспорт должен получить государственное финансирование, и он не должен быть неэффективным видом экономической деятельности для автотранспортных предприятий.

Повышение эффективности автотранспортной деятельности в определенной степени зависит и от формирования уставного капитала перевозчиков, создаваемого путем поставок автобусов любых моделей как городских и пригородных, так и междугородных, вместимостью от 12 до 47 мест с дизельными и газовыми двигателями. А это позволяет воспользоваться льготным транспортным режимом их ввоза в Узбекистан, т.е. освобождение от уплаты таможенных пошлин. Это обеспечивает для узбекского рынка беспроцентную рассрочку оплаты стоимости автобусов в течение 4 лет при гарантии 3 года и первоначальной стоимости для компании, например JAC, до 13,5% от полной стоимости автобусов.

#### **Список литературы:**

1. Конституция Республики Узбекистан. – Т.: Адолат, 1999.
2. Постановление Президента Республики Узбекистан от 10 января 2017 года № ПП-2724 «О мерах по обеспечению населения транспортными услугами и дальнейшему совершенствованию системы перевозок пассажиров автобусами в городах и селах».
3. Солиев Э.А., Назаров К.М., Адилов О.К. Основы транспортной логистики. Т. Райхона Хондамир 2014, с. 138.
4. Солиев Э.А., Кулмухаммедов Ж.Р., Адилов О.К., Назаров К.М. «Основы правил дорожного движения и первая помощь». Т. Хондамир- пресс. 2014, с. 108

УДК.378.4:005.936.2

**Аттокуров Урмат Тологонович,**  
*кандидат технических наук, профессор*  
**Азимова Алимакан Алибаевна,**  
*к.т.н., ст. преподаватель*

## **ВЛИЯНИЕ РЕЙТИНГОВ НА КАЧЕСТВО И ДОСТУПНОСТЬ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ**

**Аттокуров Урмат Тологонович,**  
*техника илимдеринин кандидаты, профессор*  
**Азимова Алимакан Алибаевна,**  
*техника илимдеринин кандидаты, ага окутуучу*

### **РЕЙТИНГДЕРДИН ЖОГОРКУ БИЛИМДИН САПАТЫНА ЖАНА ЖЕТКИЛИКТҮҮЛҮГҮНӨ ТИЙГИЗГЕН ТААСИРИ**

**Urmat Tologonovich Attokurov,**  
*Candidate of Technical Sciences, Associate Professor*  
**Alimakan Alibaevna Azimova,**  
*Candidate of Technical Sciences*

## **THE IMPACT OF RANKINGS ON THE QUALITY AND ACCESSIBILITY OF HIGHER EDUCATION**

*Ошский технологический университет им. М.М. Адышева, Ош, Кыргызская Республика*  
*М.М. Адышев ат. Ош технологиялык университети Ош, Кыргыз Республикасы*  
*Osh Technological University named after M. M. Adyshev,*  
*Osh, Kyrgyz Republic*

**Аннотация.** В статье рассматривается влияние рейтинговых систем на качество и доступность высшего образования. Подчеркивается роль рейтингов как инструмента повышения конкурентоспособности вузов и ориентира для потребителей образовательных услуг. Анализируются современные тенденции в национальных и международных рейтингах, выявляются их ключевые индикаторы и методы оценки. Особое внимание уделено влиянию рейтингов на стратегическое развитие высших учебных заведений Кыргызской Республики, в том числе на совершенствование образовательных программ, повышение эффективности деятельности и интеграцию в мировое образовательное пространство. На основе системного анализа и методов моделирования предложен подход к разработке институциональной и программной рейтинговой системы, обеспечивающей объективность оценки и прозрачность критериев. Приведен обзор и анализ работ по проблеме рейтинга в образовании вуза. Разработана и приведена методология рейтинговой системы образовательной деятельности вузов.

**Ключевые слова:** рейтинг, высшее образование, качество образования, доступность образования, конкурентоспособность вузов, интеграция, образовательная политика, методология, системный анализ, бизнес процесс

**Аннотация.** Бул макалада рейтингдик системанын жогорку билим берүүнүн сапатына жана жеткиликтүүлүгүнө тийгизген таасири каралат. Рейтингдин жогорку окуу жайларында атаандаштыкка жөндөмдүүлүгүн жогорулатуудагы жана билим берүү кызматтарынын керектөөчүлөрү үчүн багыт берүүчү куралы катары белгиленет. Улуттук жана эл аралык рейтингдердеги азыркы тенденциялар талданат, алардын негизги көрсөткүчтөрү жана баалоо ыкмалары аныкталат. Өзгөчө көңүл Кыргыз Республикасынын жогорку окуу жайлары-

нын стратегиялык өнүгүүсүнө рейтингдердин тийгизген таасири бурулат. Анын ичинде билим берүү программаларын өркүндөтүү, ишмердүүлүктүн натыйжалуулугун жогорулатуу жана дүйнөлүк билим берүү мейкиндигине интеграциялоо маселелери каралат. Системалуу талдоо жана моделдөө ыкмаларынын негизинде баалоонун объективдүүлүгүн жана критерийлердин ачык-айкындуулугун камсыз кылган институционалдык жана программалык рейтингдик системаны иштеп чыгуу боюнча ыкма сунушталат. Ошондой эле жогорку окуу жайларынын билим берүү ишмердүүлүгүндөгү рейтинг маселесине арналган изилдөөлөрдүн обзору жана талдоосу келтирилген. Университеттердин билим берүү ишмердүүлүгүнүн рейтингдик системасынын методологиясы иштелип чыгып берилген.

**Негизги сөздөр:** рейтинг, жогорку билим берүү, билим берүүнүн сапаты, билим берүүнүн жеткиликтүүлүгү, жогорку окуу жайларынына таандыштыкка жөндөмдүүлүгү, интеграция, билим берүү саясаты, методология, тутумдукталдоо, бизнес-процесс.

**Annotation.** The article examines the impact of ranking systems on the quality and accessibility of higher education. Rankings are emphasized as a tool for enhancing the competitiveness of universities and serving as a benchmark for consumers of educational services. Current trends in national and international rankings are analyzed, highlighting their key indicators and assessment methods. Special attention is given to the influence of rankings on the strategic development of higher education institutions in the Kyrgyz Republic, including the improvement of educational programs, increased institutional efficiency, and integration into the global educational space. Based on systems analysis and modeling methods, an approach to the development of an institutional and program-based ranking system is proposed, ensuring objectivity and transparency of evaluation criteria. The review and analysis of works on the issue of ranking in university education is given. The methodology of the rating system of educational activities of universities has been developed and presented.

**Keywords:** rankings, higher education, education quality, education accessibility, university competitiveness, integration, education policy, methodology, systems analysis, business process.

### Введение

В современных условиях приоритетом образовательной политики страны является обеспечение эффективности результатов высшего образования как необходимого условия развития общества и государства. В программных документах развития сферы образования необходимость обеспечения эффективности результатов высшего образования декларируется как важнейший фактор, определяющий конкурентоспособность, условия интеграции в мировое образовательное пространство, а также национальную безопасность государства.

Ключевая роль системы высшего образования Кыргызской Республики в условиях модернизации экономики страны предполагает углубление реформ в системе высшего образования и улучшение его качества в перспективе с учетом создания экономики страны, основанной на знаниях.

Таким образом, оценка эффективности результатов высшего образования в настоящее время - не абстрактная тема, а инстру-

мент к решению назревших практических проблем по обеспечению эффективности результатов деятельности и воздействия на развитие вузов.

**Актуальность исследования** обусловлена возрастающим вниманием со стороны потребителей образовательных услуг к рейтинговым системам, выступающим инструментом оценки конкурентоспособности высших учебных заведений. В условиях усиления конкуренции в сфере образования вузы стремятся к укреплению своих позиций в национальных и международных рейтингах, что требует детального анализа применяемых методик ранжирования и приведения деятельности вузов в соответствие с ключевыми индикаторами оценки.

**Целью исследования** является научно обоснованная разработка методологии институциональной и программной рейтинговой системы, основанной на агрегировании и интеграции данных, отражающих иерархическую структуру и управленческие характеристики образовательных организаций,

с последующим формированием итогового рейтингового показателя с использованием информационно-программных средств.

**Методология исследования** опирается на теоретические основы образовательных систем, системный анализ, а также принципы и подходы, используемые в моделировании бизнес-процессов и построении информационных систем.

**Результаты исследования.** Современные тенденции развития вузов вхождения в мировые образовательные рейтинговые системы, переход на модель университетов 4.0. и развитие трансфер технологий объективно обусловили необходимость разработки и реализации в практической деятельности более современных методов и технологий управления образовательной системы.

В настоящее время в связи с введением аккредитации вузов и образовательных программ и расширением форм участия в рейтинговых системах постановка политики в области качества, обеспечивающей количественные и качественные показатели эффективности результатов деятельности вузов, приобретают практическую значимость. Проведенные исследования показали, что единых подходов и методов, инструментария и параметров оценки качества образования пока еще не разработано [10, с.164; 8, с.337].

В работе [7, с.66] отмечается недостаточной эффективностью существующей системы оценки деятельности, поскольку не используется в качестве пороговых значений параметров медианных значений. Предлагается в качестве основных критериев оценки эффективности вузов использовать показатели международных рейтингов [7, с.66; 4, с.50; 2, с.40,11, с. 27].

Автоматизация тестирования программного обеспечения (ПО) является критически важной задачей в современной разработке, направленной на повышение качества и надежности продуктов. Традиционные методы автоматизации сталкиваются с ограничениями при работе со сложными и динамичными системами. Данное исследование направлено на оценку эффективности применения методов искусственного интеллекта (ИИ) для преодоления этих ограничений и повышения качества автоматизированного тестирования ПО [8].

В статье [10, с. 165] обосновывается необходимость модернизации существующей методики мониторинга и перенаправление ее в государственный рейтинг вузов, который бы предоставлял объективную оценку эффективности вузов в соответствии с целевой группой и его спецификой вуза, а также стимулировал поступательное развитие вузов и сферы высшего образования.

Обеспечение эффективности деятельности вузов можно представить, как функцию максимальных уровней входных, ресурсных, социальных, информационных, статусных и др. баз, а также результативности достижения целей согласно миссии, признания репутации потребителями образовательных услуг и рейтинговыми системами [5, с.162; 3, с. 3; 17, с. 549].

В современном высшем образовании значительную роль играют международные и национальные рейтинги, которые помогают оценивать качество вузов и их конкурентоспособность. Среди наиболее известных глобальных рейтингов выделяются следующие (см. таблицу 1):

Рейтинг	Краткое описание
<b>THE (Times Higher Education)</b>	Оценивает качество преподавания, научные исследования, цитируемость, международное сотрудничество и связь с индустрией.
<b>QS World University Rankings</b>	Основывается на экспертных опросах, академической репутации, соотношении студентов и преподавателей, цитируемости и международной активности.
<b>ARWU (Shanghai Ranking)</b>	Фокусируется на научных достижениях, публикациях в ведущих журналах, наличии лауреатов Нобелевской премии и Филдсовской медали.

В условиях глобализации и интернационализации высшего образования, рейтинговая система становится важным инструментом оценки деятельности вузов. В настоящее время в мировой практике функционируют более 50 национальных и 7 глобальных рейтингов вузов. Рейтинг вузов - интегральная оценка их деятельности на основе установленных критериев с представлением результатов ранжирования. Рейтинг вузов призван обеспечить наиболее полной информацией потенциальных абитуриентов, студентов, родителей, профессиональных сообществ и работодателей о потенциале вузов.

В программе развития образования в Кыргызской Республике на 2021-2040 годы, утвержденной правительством КР от 4.05.2021г. №200 предусмотрено создание Национальной модели рейтинга вузов, как стартовой площадки для подготовки вузов к участию в международных рейтингах [1].

**Рейтинговые агентства КР** - это самостоятельные или государственные структуры, которые осуществляют оценку и систематическое упорядочивание качества образовательных учреждений, главным образом вузов, колледжей и школ. Они анализируют работу учебных заведений по разнообразным показателям и формируют рейтинги - списки, ранжирующие учреждения от самых успешных до менее результативных.

**Основные функции рейтинговых агентств КР:**

- Оценка качества образования - проверка уровня преподавания, научной деятельности, инфраструктуры и других показателей.
- Сравнение вузов и образовательных программ - составление рейтингов для информирования студентов, родителей и государства.
- Повышение прозрачности и конкурентоспособности системы образования - стимулирование учебных заведений улучшать качество.
- Помощь абитуриентам и работодателям - предоставление объективной информации о вузах и специальностях.

Данные рейтинги являются ориентиром для вузов в вопросах повышения качества образовательных услуг и активного участия в научно-исследовательской деятельности.

Они способствуют формированию прозрачной и объективной системы оценки, что в свою очередь влияет на престиж и привлекательность университетов на международной арене.

В настоящее время в системе высшего образования Кыргызстана применяется только рейтинг образовательных программ на платной основе, разработанный НААР (Независимое агентство аккредитации и рейтинга, Республика Казахстан). В связи с тем, что бюджет не всех ВУЗов позволяет выделить денежные средства, данные о программах вводятся частично, либо не вводятся вовсе. Из-за этого формирование рейтинга недостаточно объективно. Поэтому не представляется возможным получить интегрированную общую оценку деятельности вузов, а также реальную картину оценки по профильным и специализированным вузам.

В связи с вышеизложенным, возникла актуальность проектирования и разработки автоматизированной информационной системы, которая позволит провести сбор данных об университетах путем их анкетирования, а также формировать рейтинг, используя приведенные данные [16, с. 550]. Эта система послужит инструментом оценки конкурентоспособности вузов. Данная работа является государственным заказом Министерства образования и науки Кыргызской Республики (МОН КР) на тему «Разработка и реализации модели национальной рейтинговой системы высшего образования». Рейтинг вузов представляет собой оценочную процедуру качества образовательных услуг, определяющихся итогом составляющих - образования, научно-исследовательской работы, материально-технической базы, учебно-методической работы, международной интеграции, социальной работы, динамики развития вуза [1; 2, с.32; 14, с. 230]. Методика институционального рейтинга позволяет сравнивать вузы и стимулирует стремление к развитию интеграции в международное образовательное пространство. Формирование рейтинга вузов предполагает обоснование и выбор репрезентативного числа показателей и критериев оценки деятельности вузов с соответствующими весовыми значениями, которые составляют базу данных экспериментального исследования. Сбор и обработ-

ка данных, осуществление расчета согласно методике, является сложным и многогранным процессом, требующим большого объема времени, материальных и человеческих ресурсов.

Агентством EDNET был проведен институциональный рейтинг среди высших учебных заведений Кыргызстана. В нем Ошский технологический университет занял 14-е место. В основном рейтинг был организован по следующим критериям (таблица 2).

### Исходные данные

Таблица 2.

№	Критерий	Результат ОшТУ
1	Контингент студентов по формам обучения (отдельно по очной и заочной, включая дистанционное обучение) по состоянию на 2025г.	
	Общее количество студентов по очной форме обучения: чел.	4131
	-бакалавриат	
	-специальность	3603
	-магистратура	322
	-докторантура PhD	206
	Из них иностранные студенты:	0
	-бакалавриат	2205
	-специальность	2010
	-магистратура	195
	-докторантура PhD	14
	Общее количество студентов по заочной форме, включая дистанционное обучение: чел.	9
	-бакалавриат	
	-специальность	13429
-магистратура	12575	
	854	
	0	

2	<p><b>Число образовательных программ, реализуемых в вузе</b></p> <p>Количество образовательных программ подготовки, их количество в разрезе уровней обучения по:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-бакалавриат</li> <li>-специальность</li> <li>-магистратура</li> <li>-докторантура PhD</li> </ul> <p>Образовательные программы, имеющие международную аккредитацию (с указанием номера сертификата и его срока действия).</p>	<p style="text-align: right;">38</p> <p style="text-align: right;">5</p> <p style="text-align: right;">16</p> <p style="text-align: right;">9</p> <p>Институциональная и программная аккредитация (НААР): Срок действия свидетельства: 11.06.2021г. – 10.06.2024г. (институциональная), 11.06.2021г. – 10.06.2026г. (программная).          Протокол Аккредитационного Совета НААР №59 от 11.06.2021г.). Регистрационный номер: АА0213</p>
---	---	--

3	<p><b>Академические кадры: профессорско-преподавательский состав.</b></p> <p>Штатный состав ППС – количество преподавателей, работающих на полную ставку (ППС шт.):</p> <p>-количество докторов наук и профессоров (ВАК), чел: 319</p> <p>-количество кандидатов наук и доцентов (ВАК), чел.: 17</p> <p>-количество докторов PhD, чел.: 106</p> <p style="text-align: right;">0</p> <p>Число ППС, работающих по совместительству, чел. из них:</p> <p>-количество кандидатов наук и докторов (ВАК), чел.: 32</p> <p>-количество докторов PhD, чел.: 16</p> <p style="text-align: right;">0</p> <p>Число ППС, имеющих диплом/ученую степень вузов дальнего зарубежья, чел: 0</p>	
4	<p>Количество штатных сотрудников и преподавателей, имеющих звания и награды:</p> <p>- член-корр., 1</p> <p>- заслуженные деятели, 2</p> <p>- лауреаты, 0</p> <p>- народные учителя, 0</p> <p>- народные артисты, 0</p> <p>- народные художники, 10</p> <p>- заслуженные мастера спорта) (к общему числу штатных ППС)</p> <p style="text-align: right;">1</p>	
5	<p>Прохождение курсов повышения квалификации (к общему числу штатных ППС) за 5 лет не менее в объеме 72 часов.</p>	136
6	<p>Количество международных грантов</p>	7
7	<p>Количество студентов, прошедших стажировку за рубежом (за прошлый год) не менее 1 семестра</p>	85
8	<p>Количество студентов, прошедших стажировку внутри Кыргызстана не менее 1 семестра</p>	59
9	<p>Количество ППС прошедших стажировку за рубежом (за прошлый год), не менее 5 рабочих дней.</p>	2
10	<p>Количество ППС прошедших стажировку внутри Кыргызстана (за прошлый год), не менее 5 рабочих дней.</p>	79

11	Укажите общий объем университета в сомах.	432 309 984 сом
12	Укажите объем в сомах внешних инвестиций через международные проекты.	5884398
13	Укажите объем расходов на доступ к международным электронным базам данных (ЭБД), библиотекам и аналитическим системам (за прошлый год, в расчете на 1 студента), тысяч сом.	нет
14	Количество электронных сервисов университета.	1490
15	Количество электронных данных (книг) в библиотеке.	51714
16	Укажите среднюю базовую стоимость обучения на 1-м курсе по очным программам бакалавриата-специальности-магистратуры (тыс. сом в год)	Бакалавриата-специальности – 31414 сом Магистратуры - 26950 сом
17	Укажите средний балл ОРТ абитуриентов, зачисленных по конкурсу на очную форму обучения в ВУЗ	138
18	Количество выпускников, окончивших вуз с отличием	39
19	Количество студентов, завершивших обучение	1037
20	Количество трудоустроенных выпускников (за последние 3 года)  Количество студентов, поступивших в ВУЗ:  -бакалавриат (2018-2019 уч. год):  -специалитет (2017-2018 уч. год):  -магистратура (2020-2021 уч. год):  -докторантура PhD (2019-2020 уч. год):	67,7%    478 66 86 0
21	Количество трудоустроенных выпускников (за последние 3 года)	77,9% по бюджету, 57% по внебюджету
22	Наличие ассоциации выпускников	есть
23	Наличие центра карьеры	есть
24	Наличие договоров с работодателями	есть
25	Наличие плана работы с работодателями	есть
26	Наличие информации о деятельности с работодателями на сайте	есть
27	Количество малых инновационных предприятий, созданных при вузе (функционирующих в настоящее время)	не имеется
28	Укажите объем бюджета, привлеченного на НИО КР научных проектов за прошлый год, в сомах	5336500

29	Укажите объем интеллектуальной собственности в сомах	нет
30	Объем международных исследовательских научных проектов с зарубежными странами в сомах	около 1 млн.сом
31	Количество студентов – победителей республиканских и международных студенческих олимпиад	нет
32	Количество публикаций, индексируемых в зарубежных базах данных на 1-го педагогического работника (НПР) за последние 3 года	РИНЦ – 1,83 619/446.  Скопус или WOS- 0,022. 10/446
33	Количество цитирований за последние 3 года в среднем на статью, согласно зарубежным базам данных (РИНЦ, WebofScience, Scopus и т.д.).	Среднее число цитирований в расчете на одного автора – 1,55
34	Количество диссертационных советов, действующих при вузе	1
35	Количество защит диссертаций (к.н., д.н., PhD) штатными ППС и сотрудниками (за прошлый год)	4 кандидатские,  2 докторские
36	Количество работающих при вузе лабораторий, конструкторских, проектно-конструкторских подразделений, клиник и т.д. (функционирующих в настоящее время)	3
37	Количество инновационных подразделений вуза (технопарки и т.д.) (функционирующих в настоящее время)	1
38	Количество изданных учебников под грифом МОиНКР	2
39	Количество изданных учебных пособий под грифом МОиНКР	4
40	Наличие стратегии и миссий вуза, программ реализации стратегии в структурных подразделениях	есть
41	Наличие целевых групп в социальных сетях, количество подписчиков	есть,  3914
42	Количество посещаемости официального веб-сайта ВУЗа (средняя посещаемость в день на основании данных запрошенного учебного года)	150 до 200
43	Количество публикаций представителей администрации ВУЗа	136

Методика и практика проведения мониторинга вузов в соответствии с расширением интернационализации образования и науки, требованиями перехода на модели университетов 4.0. и позиционирования в мировой рейтинговой системе университетов QS в настоящее время подлежат модернизации и совершенствованию инструментального

аппарата на основе разработки современных методов и технологий оценки результатов образовательной деятельности с применением информационной системы мониторинга вузов [15, с.205; 18, с.75].

#### **Заключение**

Таким образом, практика применения рейтинговых систем в высшем образовании

приобретает всё большее значение в условиях глобализации. Она способствует повышению доступности образования, расширяет возможности абитуриентов при выборе вузов с учётом их репутации, общественного признания и качества образовательных услуг. Информационное представление результатов деятельности образователь-

ных организаций играет ключевую роль в обеспечении прозрачности и объективной оценки качества образования, а также его соответствия потребностям рынка труда. Это подчеркивает необходимость дальнейшего развития и совершенствования методологических подходов к формированию институциональных рейтинговых систем.

### Список литературы:

1. 2021-2040-жылдары Кыргыз Республикасында билим берүүнүн үнүктүрүү программасын бекитүү жөнүндө [Текст]: Кыргыз Республикасынын Өкмөтүнүн токтому. - № 200. - Б., 2021-жылдын 4-майы.
2. Сбор, оформление, обработка данных и определение рейтинга ВПО [Текст]: метод. руководство выполнено в рамках науч.-исслед. гранта МОиН Кыргыз. Респ. «Разработка и реализации модели нац. рейтинговой системы высш. образования», предназначенного для представителей вуза, комиссии и администратора системы формирования рейтинга вузов Кыргыз. Респ. / КГТУ им. И. Раззакова [Текст] / [Б. Б. Кошоева, А. Р. Абдылдаева, А. Т. Бакалова и др.]. - Бишкек: ИД Калем, 2023. - 56 с.
3. Бондарев, Я. П. Интеллектуализация управления изменениями в деятельности вуза на основе мониторинга-рейтинговой информации [Текст] / Я. П. Бондарев, Я. Е. Львович // Современные проблемы науки и образования. 2013. - № 3. - С. 13.
4. Новгородов, П. А. Эффективность деятельности вузов: от мониторинга и рейтингов к оценке интеллектуального капитала [Текст] / П. А. Новгородов // Управленец. - 2018. - Т. 9, № 1. - С. 48-55.
5. Сергеева, С. Ю. Современные подходы и методы оценки качества образования [Текст] / С. Ю. Сергеева, Е. Д. Обревко // Молодой ученый. - 2019. - № 37 (275). - С. 162-165.
6. Торобеков, Б. Т. Развитие системы управления качеством высшего образования в Кыргызской Республике [Текст] / Б. Т. Торобеков // Изв. Кыргыз. гос. техн. ун-та им. И. Раззакова. - 2008. - №13. - С. 337-339.
7. Чудаева, Н. А. Мониторинг эффективности деятельности вузов и направления его совершенствования [Текст] / Н. А. Чудаева // Наука, техника и образование. - М., 2018. - № 4(45). - С. 65-68.
8. Часовских В.П., Аттокуров У.Т., Кох Е.В., Абдыракманова К.Т. Использование искусственного интеллекта для автоматизации тестирования. Управление образованием: теория и практика / EducationManagementReview Том 14 (2024). № 6-1 / Volume 14 (2024). Issue 6-1.
9. Торобеков, Т. Б. Модель мониторинга эффективности деятельности вузов [Текст] / Б. Т. Торобеков, А. А. Азимова // Alatoacademicstudies. - 2023. - № 3. - С. 161-171.
10. Кочетов, Д. А. Разработка системы показателей для мониторинга деятельности вуза [Текст] / Д. А. Кочетов // Открытое образование. - 2011. - № 6. - С. 26-32.
11. Чудаева, Н. А. Предложения по оптимизации мониторинга эффективности вузов как инструмента оценки качества образования // Наука и образование сегодня. - 2018. - № 6. - С. 87-91.
12. Красильникова, А. В. Обзор моделей мониторинга качества составляющих педагогической системы в украинских вузах [Текст] / А. В. Красильникова // Концепт. - 2014. - № 11 (нояб.). - С. 1-8.
13. Сатыбалдиев, А.Б. Ош технологиялык университетине сапат менеджмент системасын киргизүү этаптары [Текст] / А.Б. Сатыбалдиев, А.А. Азимова // [Известия вузов Кыргызстана](#). - Бишкек, 2023. - №3. - Стр. 228-232.
14. Торобеков, Б. Т. Методологические основы оценки качества высшего образования [Текст] / Б. Т. Торобеков, А. А. Азимова, К. Риферт // Наука и инновац. технологии. - 2020. - № 2(15). - С. 201-210.

15. Торобеков, Б. Т. Основы концепции построения информационной системы мониторинга эффективности деятельности вузов [Текст] / Б. Т. Торобеков, А. А. Азимова // Бюл. науки и практики. – 2022. – Т. 8, № 9. – С. 547–551.

16. Азимова, А. А. Анализ информационных систем мониторинга деятельности вузов [Текст] / А. А. Азимова // Бюл. науки и практики. – Нижневартовск, 2022. – № 9. – С. 547–551.

17. Азимова, А. А. Развитие системы мониторинга образования вузов [Текст] / А. А. Азимова, Б. Т. Торобеков, Г. О. Тажигулова, Н. Ж. Жусуева // Проблемы автоматизации и упр. – Бишкек, 2023. – № 3(48). – С. 72–80.

УДК 656.13.08

**Касымалиев Бурканбек Маматкалилович<sup>1</sup>,**  
*кандидат технических наук, доцент*  
**Шайдуллаев Расулбек Бегимкулович<sup>2</sup>,**  
*кандидат технических наук, ст.науч.сотрудник,*  
**Кулмурзаев Нурбек Мамарасулович<sup>3,4</sup>,**  
*кандидат физико-математических наук, доцент*

### СОСТОЯНИЕ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ В ГОРОДЕ ОШ И НАПРАВЛЕНИЯ ЕГО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ

**Касымалиев Бурканбек Маматкалилович<sup>1</sup>,**  
*техника илимдеринин кандидаты, доцент*  
**Шайдуллаев Расулбек Бегимкулович<sup>2</sup>,**  
*Техника илимдеринин кандидаты, улук илимий кызматкер*  
**Кулмурзаев Нурбек Мамарасулович<sup>3,4</sup>,**  
*физика-математика илимдерининкандидаты, доцент*

### ОШ ШААРЫНДАГЫ ЖОЛ КЫЙМЫЛЫНЫН УЧУРДАГЫ АБАЛЫ ЖАНА АНЫ ЖАКШЫРТУУ БАГЫТТАРЫ

**Burkanbek Mamatkalilovich Kasymaliev<sup>1</sup>,**  
*Candidate of Technical Sciences, Associate Professor*  
**Shaidullaev Rasulbek Begimkulovich<sup>2</sup>,**  
*PhD, senior researcher*  
**Nurbek Mamarasulovich Kulmurzaev<sup>3,4</sup>,**  
*PhD in Physics and Mathematics, Associate Professor*

### THE CURRENT STATE OF ROAD TRAFFIC IN THE CITY OF OSH AND WAYS TO IMPROVE IT

<sup>1</sup>Ошский технологический университет им. М.М. Адышева, Ош, Кыргызская Республика

<sup>2</sup>Института природных ресурсов им. А.С. Джаманбаева ЮО НАН КР ПКР  
Ош, Кыргызская Республика

<sup>3</sup>Ошский государственный университет, Ош, Кыргызская Республика

<sup>4</sup>Пермский национальный исследовательский политехнический университет,  
Пермь, Россия.

<sup>1</sup> М.М. Адышев ат. Ош технологиялык университети, Ош, Кыргыз Республикасы  
КРП КР УИА ТБ А.С. Джаманбаев ат. Жаратылыш байлыктары институту,  
Ош, Кыргыз Республикасы

<sup>3</sup>Ош мамлекеттик университети, Ош, Кыргыз Республикасы

<sup>4</sup> Пермь улуттук изилдөө политехникалык университети, Пермь, Россия

<sup>1</sup>Osh Technological University named after M.M. Adysheva,  
Osh, Kyrgyz Republic

<sup>2</sup>Institute of Natural Resources named after A.S. Dzhamanbayev SB NAS KR PKR,  
Osh, Kyrgyz Republic

<sup>3</sup>Osh State University, Osh, Kyrgyz Republic

<sup>4</sup>Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russia

**Аннотация.** В данной статье проанализировано современное состояние дорожного движения в городе Ош и транспортные проблемы. Основной целью исследования стало выявление причин возникновения заторов, связанных с увеличением количества автотранспортных средств в городе, а также поиск научно обоснованных путей их решения. Проведённые исследования показали, что в последние годы в городе Ош наблюдается резкий рост транспортного потока. Это явление создало серьёзные трудности как для водителей, так и для пешеходов. Особенно актуальными проблемами стали транспортные заторы, недостаточность общественного транспорта и снижение уровня безопасности дорожного движения. Авторы проанализировали данные проблемы и в результате предложили пути их решения.

**Ключевые слова:** город Ош, дорожное движение, транспортные проблемы, безопасность дорожного движения, цифровые технологии, автомобильные пробки.

**Аннотация.** Бул макалада Ош шаарындагы жол кыймылынын учурдагы абалы жана транспорттук көйгөйлөр талданды. Изилдөөнүн негизги максаты – шаар ичинде автотранспорт каражаттарынын санынын көбөйүшүнө байланыштуу пайда болгон тыгындылардын себептерин аныктап, аларды чечүүнүн илимий негизделген жолдорун табуу болду.

Жүргүзүлгөн изилдөөлөр көрсөткөндөй, акыркы жылдары Ош шаарында транспорттук агымдын кескин өсүшү байкалууда. Бул көрүнүш айдоочулар үчүн да, жөө жүргүнчүлөр үчүн да олуттуу кыйынчылыктарды пайда кылды. Өзгөчө автотранспорт каражаттарынын тыгыны, коомдук транспорттун жетишсиздиги жана жол кыймылынын коопсуздугунун төмөндөшү шаардык инфраструктуранын негизги көйгөйлөрүнө айланды. Авторлор тарабынан бул көйгөйлөр талданып каралып, жыйынтыгында аларды чечүү жолдору сунушталды.

**Ачкыч сөздөр:** Ош шаары, жол кыймылы, транспорттук көйгөйлөр, жол коопсуздугу, санириптик технологиялар, автомобилдердин тыгыны.

**Annotation.** This article analyzes the current state of road traffic and transportation problems in the city of Osh. The main objective of the study was to identify the causes of traffic congestion resulting from the increasing number of motor vehicles in the city and to propose scientifically based solutions. The conducted research revealed that in recent years, Osh has experienced a significant growth in traffic flow. This situation has created serious difficulties for both drivers and pedestrians. The most pressing issues include traffic congestion, insufficient public transport, and a decline in road safety. The authors analyzed these problems and, as a result, proposed possible solutions.

**Keywords:** Osh city, traffic, transportation problems, road safety, digital technologies, traffic congestion.

### Киришүү

Шаардагы жол кыймылы коомдун социалдык-экономикалык өнүгүшүнүн маанилүү көрсөткүчтөрүнүн катарына кирет. Калктын санынын өсүшү жана автотранспорттордун санынын тездик менен көбөйүшү, шаардын инфраструктуранын жетишсиздиги менен айкалышып, транспорттук көйгөйлөрдү барган сайын курчутуп жатат. Кыргызстандагы ири шаарлардын бири болгон Ошто да акыркы жылдары жол кыймылынын абалы коомдук талкуунун өзөгүнө айланып, автотыгындылардын жаралышына себеп болууда.

Жол кыймылынын деңгээли жана анын уюштурулушу шаар тургундарынын жашоо сапатына, экономикалык активдүүлүгүнүн өсүшүнө жана коомубуздун коопсуздугунун

камсыздалышына түздөн-түз таасир берүүдө. Жыл өткөн сайын шаарыбыздын транспорттук системасы калктын күнүмдүк керектөөлөрүн канаттандырууда байкаларлык кыйынчылыктарга туш болууда. Өзгөчө, автоунаалардын санынын тынымсыз өсүшү жол тармактарынын өткөрүмдүүлүгүн төмөндөтүп, тыгындылардын күчөшүнө жана жол кырсыктарынын санын арттырууга алып келүүдө.

Бул маселени изилдөөнүн актуалдуулугу Ош шаарындагы жол кыймылын жөнгө салуу, транспорттук агымдарды оптималдаштыруу жана заманбап технологияларды колдонуу зарылдыгы менен шартталат. Дүйнөлүк практика көрсөткөндөй, санириптик башкаруу системаларын киргизүү, интеллектуалдык транспорттук

технологияларды колдонуу жана инфраструктураны модернизациялоо шаар ичиндеги кыймылдын натыйжалуулугун жогорулатмакчы.

Изилдөөнүн **максаты** – Ош шаарындагы жол кыймылынын азыркы мезгилдеги абалын талдоо жана аны жакшыртуу боюнча сунуштарды иштеп чыгуу, жол тыгынын азайтуу болуп саналат.

Изилдөөнүн **милдеттери** төмөнкүлөрдү камтыйт:

- Шаардагы транспорттук кырдаалды иликтөө жана анын негизги көйгөйлөрүн тактоо;

- Дүйнөлүк практиканы изилдеп, тажрыйбаларды салыштыруу;

- Ош шаарынын өзгөчөлүктөрүн эске алуу менен транспорттук көйгөйлөрдү жеңилдетүү боюнча чараларды иштеп чыгуу, мисалы белгилүү убактарда автоунаалардын жүрүшүн чектөө аркылуу жолдордогу басымды азайтуу.

Изилдөөнүн **объектиси** – Ош шаарынын транспорттук системасы жана жол кыймылы. Изилдөөнүн **предмети** – жол кыймылынууштуруунун ыкмалары, технологиялары жана инфраструктуралык чаралары. Бул теманы илимий жактан изилдөө практикалык чоң мааниге ээ, анткени анын жыйынтыктары Ош шаарындагы транспорттук стратегияларды иштеп чыгууда жана жол кыймылын жакшыртууда, автомобилдердин тыгынын

азайтууда колдонгонго мүмкүндүк берет.

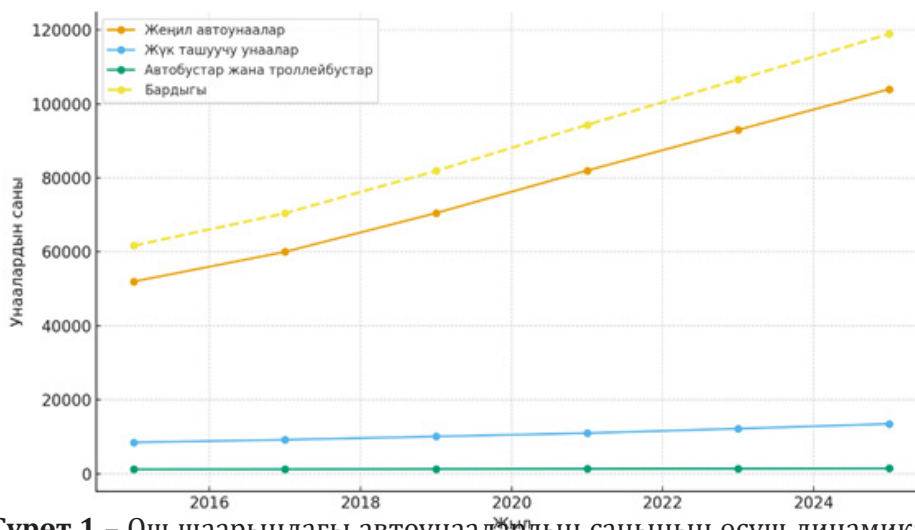
Ош шаарындагы жол кыймылынын учурдагы абалы: илимий иликтөө. Ош шаары – Кыргызстандагы калкынын саны боюнча экинчи орунда турган ири шаар. Улуттук статистикалык комитеттин акыркы маалыматына ылайык, 2025-жылга карата шаарда 380 миңден ашык тургун жашоодо [1]. Бирок күнүмдүк транспорттук агым калктын өзүнүн санына салыштырмалуу дээрлик бир нече эсе жогору. Мунун себеби – аймактык райондордон жана коңшу облустардан күн сайын миңдеген адамдардын жумушка, окууга же башка муктаждыктар үчүн каттап келиши. Ошол себептердин натыйжасында шаар ичинде автотыгындар жаралууда.

Мындан тышкары, акыркы он жылдыкта Ош шаарында катталган жеңил жана жүк ташуучу транспорт каражаттарынын саны дээрлик өстү. Автоунаалардын мындай тездик менен көбөйүшү шаар жолдорунун өткөрүмдүүлүгүнө кошумча басым жасап, транспорттук системанын натыйжалуулугун төмөндөтүүдө, мындай көрүнүштү изилденген жана төмөндөгү көрсөтүлгөн 1-таблицадан байкоого болот. Бул жагдайлар транспорттук инфраструктураны өнүктүрүүнүн жана жол кыймылын уюштуруунун инновациялык ыкмаларын колдонуу зарылчылыгын шарттоодо.

1-таблица. Ош шаарындагы транспорттордун көбөйүү статистикасы

Жыл	Жеңил автоунаалар	Жүк ташуучу унаалар	Автобустар жана троллейбустар	Бардыгы
2015	52 000	8 500	1 200	61 700
2017	60 000	9 200	1 250	70 450
2019	70 500	10 100	1 300	81 900
2021	82 000	11 000	1 350	94 350
2023	93 000	12 200	1 400	106 600
2025	104 000	13 500	1 450	118 950

Маалымат Улуттук статистикалык комитетинин жана шаардык транспорт башкармалыгынын болжолдуу негизинде түзүлдү.



**Сүрөт 1** – Ош шаарындагы автоунаалардын санынын өсүш динамикасы (2015–2025-жж.)

Жогорудагы таблица жана график Ош шаарындагы автоунаалардын санынын акыркы он жыл ичиндеги динамикасын чагылдырат. Маалыматтарга ылайык, 2015–2025-жылдар аралыгында автотранспорт каражаттарынын саны туруктуу өсүү тенденциясын көрсөтүүдө.

Жеңил автоунаалардын саны 2015-жылы 52 миңди түзсө, 2025-жылы 104 миңге жеткен. Бул көрсөткүч он жыл аралыгында дээрлик эки эсе өскөнүн көрсөтүп турат. Жеңил автоунаалар шаардык транспорттук агымдын негизги бөлүгүн түзгөндүктөн, тыгындалардын пайда болушунда чечүүчү роль ойнойт.

Жүк ташуучу унаалардын саны 2015-жылы 8,5 миң болсо, 2025-жылга карата 13,5 миңге жеткен. Бул өсүш да туруктуу мүнөзгө ээ болуп, Ош шаарындагы экономикалык жана соода жүгүртүүнүн кеңейиши менен тыгыз байланыштуу. Бирок жүк ташуучу унаалардын көбөйүшү жолдордун тез эскиришине жана транспорттук коопсуздук көйгөйлөрүнө кошумча таасир этүүдө.

Автобустар жана троллейбустардын саны салыштырмалуу аз өзгөргөн. 2015-жылы 1,2 миңди түзгөн бул көрсөткүч 2025-жылы болгону 1,45 миңге жеткен. Бул абал коомдук транспорттун өнүгүшү жеңил автоунаалардын өсүү темпине салыштырма-

луу артта калып жатканын көрсөтөт. Жалпы алганда, бардык транспорт каражаттарынын саны 2015-жылдагы 61,7 миңден 2025-жылы 118,9 миңге чейин өскөн. Бул көрсөткүч он жыл ичинде дээрлик эки эсеге жакын көбөйүп, шаар ичиндеги жол кыймылынын интенсивдүүлүгүнүн олуттуу жогорулашын далилдейт.

Азыркы күндө транспорттук агымдын эң жогорку интенсивдүүлүгү шаардын борбордук магистралдык: А. Навои, А. Масалиев, Алымбек Датка, Курманжан Датка жана И. Монуев көчөлөрүндө байкалат. Автомобиль унааларынын санынын көбөйүшү шаарыбыздагы жолдордун өткөрүмдүүлүгүнө олуттуу таасир көрсөтүп, тыгындалардын пайда болушун шарттап, транспорттогу кооптуулукту (кырсыктар) пайда кылды.

Жол кыймылынын **негизги көйгөйлөрүн** төмөнкүдөй бөлүп кароого болот:

**Жолдогу автомобильтигындары.**Трафиктин көбөйүшү, унаа токтотуучу жайлардын жетишсиздиги жана шаардагы соода сатык жайларынын өсүшү Ош шаарында тыгындалардын негизги себеби болуп саналат. Айрыкча, эртең мененки (саат 8-00дөн саат 10-00гө чейин) жана кечки убакта (саат 16-30дан 19-30га чейин) борбордук көчөлөрдө унаалардын узун катарлары пайда болот, мындай көрүнүштү 2,3,4,5-сүрөттөрдөн байкоого болот.



2-сүрөт. Ош шаарындагы А.Навои көчөсүндөгү (эстакадалык көпүрөнүн үстү) автомобилдердин тыгыны



3-сүрөт. Ош шаарындагы Көкүм-Бий көчөсүндөгү автомобилдердин тыгыны



4-сүрөт. Ош шаарындагы Ы.Моңуев көчөсүндөгү автомобилдердин тыгыны



5-сүрөт. Туура эмес токтогон маршруттук таксилер

Ички иштер министрлигинин Жол кыймылы коопсуздугун камсыздоо башкармалыгынын маалыматына ылайык [2], акыркы жылдары Ош шаарында жыл сайын 500дөн ашык жол кырсыгы катталып келет. Кырсыктардын негизги себептери катары:автомобилдерди катуу ылдамдыкта айдоо, жол эрежелерин жакшы билбеген же сактабаган айдоочуларжана жөө жүргүнчүлөрдүн туура эмес жерден өтүшү белгиленет. Мындан тышкары, жолдогу тыгын убагында кээ бир айдоочулардын жолдон чыгып шашып айдоолору да жол эрежелеринин гана бузулушуна алып келбестен, жолдогу кырсыктардын санын көбөйтүүдө.

Жогорудагы белгиленип кеткен кемчиликтерди жоюунун инновациялык жолу катары төмөндөгүлөрдү санап кетсек болот:

1. Шаардагы такси кызматтарынын иштөө графиктерине өзгөртүүлөрдү киргизүү керек жана муниципалдык транспортторду көбөйтүү зарыл;

2. Макаладагы негизги ойлордун бири болуп шаардагы автомобилдерди 1, 3, 5, 7, 9 менен аяктаган но-

мерлер жуп күндөрү, 2, 4, 6, 8, 0 менен аяктаган номерлүү машиналар так күндөрү иштей тургандай кылуу;

3. Түнкү убакытта, тактап айтканда кечки 20:00дөн таңкы 07:00гө чейин, бардык айдоочулар жеке транспорт каражаттарын чектөөсүз колдоно алышат;

4. Эгерде сунушталып жаткан инновациялык ыкманы колдонсок шаардын ичиндеги автомобиль тыгындары азаят жана транспорт кырсыктары төмөндөйт.

**Коомдук транспорттун жетишсиздиги.** Шаарда негизинен кичи автобус (маршруттук такси) системасы үстөмдүк кылат. Бирок алардын техникалык абалы начар, жүргүнчүлөрдү тейлөө деңгээли төмөн жана кыймылдын так графиги жок. Бул жеке автоунаалардын колдонулушун көбөйтүп, жолдогу жүктү дагы да күчөтөт.

Жыйынтыктап айтканда, Ош шаарындагы жол кыймылынын учурдагы абалы татаал болуп, ал социалдык, экологиялык жана экономикалык көйгөйлөрдү жаратат.

**Жол кыймылын уюштуруудагы дүйнөлүк жана коңшулаш мамлекеттердеги тажрыйбалар.** Жол кыймылын натыйжалуу уюштуруу дүйнөнүн ири шаарлары үчүн эң маанилүү маселелердин бири болуп эсептелет. Калктын тыгыз жайгашуусу жана автоунаалардын санынын өсүшү транспорттук көйгөйлөрдү күчөтүп, жаңыча башкаруу ыкмаларын колдонууга түрткү берүүдө. Дүйнөлүк практика көрсөткөндөй, транспорттук системаларды оптималдаштыруу үчүн санариптик технологиялар, интеллектуалдык башкаруу ыкмалары жана комплекстүү инфраструктуралык чечимдер кеңири пайдаланылууда. Ал эми коңшулаш мамлекеттердин тажрыйбасын карай турган болсок, Мисалы Алматы шаарында калктын саны 1 млн. жеткенден баштап **тез муниципалдык каттам уюштурулган.** Эгерде ушул мисалды биздин шаарга киргизе турган болсок №7 маршруттук каттамды **7, 7А** деп каттатсак болот (7А ылдамдатылган маршрут). Бул дагы тыгынды азайтуунун бир ыкмасы. Жана дагы жалпы Кыргызстан мамлекетибиз үчүн транспорттук кодекске өзгөртүүлөрдү киргизүү керек, ал **мыйзам түрүндө** бекитилиши зарыл.

**Интеллектуалдык транспорттук системалар (ITS).**

АКШ, Япония, Германия, Швеция, Финландия сыяктуу мамлекеттерде жол кыймылын башкарууда ITS кеңири колдонулат. Бул системанын негизги өзгөчөлүгү – жолдорго орнотулган сенсорлор жана камералар аркылуу реалдуу убакытта маалымат чогултуу жана анализ жүргүзүү. Натыйжада жол кыймылынын абалы онлайн көзөмөлдөнүп, тыгындыларды алдын алуу үчүн жарык берүүчү сигналдар автоматтык түрдө жөнгө салынат. Японияда гаражи жок машина сатып ала албайсың. Ал эми Скандинавия мамлекетинде 7-класстан баштап адам өмүрү өткөнгө чейин права алыш үчүн сынак тапшыра беришет, себеби адамдын өмүрү биринчи орунда турат.

**Коомдук транспортту өнүктүрүү.** Европанын бир катар шаарларында (Лондон, Берлин, Париж) жеке автоунааларга болгон көзкарандылыкты азайтуу үчүн метро, трамвай жана автобус сыяктуу коомдук транспорттун түрлөрү артыкчылык менен өнүктүрүлүүдө. Мисалы, Лондондо коомдук

транспорттун так графиги жана электрондук билеттер системасы киргизилип, жүргүнчүлөр үчүн ыңгайлуулук түзүлгөн.

Ал эми Ош шаарыбызда болсо коомдук транспортту өнүктүрүүдө муниципалдык гараж керек (троллейбус, автобустар үчүн бар), ал эми жеңил муниципалдык автомобилдер үчүн гараждар белгиленген эмес, шаардык Кеңеш тарабынан муниципалдык жеңил транспортту тейлөөнү толук иштөө графиктерин, өз учурунда техникалык каронун жана күнүмдүк ишке жарактуу экендигин тастыктоочу органды белгилөө керек.

**Санариптик технологиялар.** Сингапурда жана Сеулда жол кыймылын башкарууда электрондук төлөмдөр жана «акылдуу» мобилдик тиркемелер колдонулат. Жүргүнчүлөр жана айдоочулар онлайн платформалар аркылуу жолдун абалы, транспорттун кыймыл графиги жана бош унаа токтотуучу жайлар тууралуу маалымат алат. Бул ыкмалар убакытты үнөмдөп, жолдогу баш аламандыкты азайтат.

**Экологиялык транспортко өтүү.** Көптөгөн өнүккөн мамлекеттерде экологиялык жактан таза транспортко көңүл бурулууда. Мисалы, Норвегияда электр унааларын колдонуу үчүн атайын инфраструктура курулуп, заряддоо станциялары кеңири жайылтылган. Бул жол кыймылын оптималдаштыруудан тышкары, шаар ичиндеги абанын сапатын жакшыртууга да өбөлгө түзөт.

Жыйынтыктап айтканда, дүйнөлүк тажрыйба көрсөтүп тургандай, жол кыймылын уюштурууда комплекстүү мамиле маанилүү. Санариптик башкаруу системаларын киргизүү, коомдук транспортту өнүктүрүү жана экологиялык унааларды колдоо – бул узак мөөнөттүү жана натыйжалуу чечимдер.

**Ош шаарындагы жол кыймылын жакшыртуу жолдору.** Ош шаарындагы транспорттук системанын учурдагы абалын талдоонун негизинде жол кыймылын жакшыртуу үчүн комплекстүү чараларды көрүү зарыл. Бул чаралар инфраструктуралык, уюштуруучулук жана технологиялык багыттарды камтышы керек.

**1. Инфраструктураны модернизациялоо.** Шаардагы негизги көчөлөрдүн өткөрүү мүмкүнчүлүгүн кеңейтүү үчүн айрым тилкелерди кеңейтүү жана жаңы аймак жолдорду куруу талалыкылат. Ошондой

эле, унаа токтотуучу жайлардын жетишсиздигин жоюу максатында көп деңгээлдүү паркингдерди куруу зарыл. Жөө жүргүнчүлөр үчүн коопсуз өтмөктөрдү жана велосипед жолдорун куруу транспорттук системанын туруктуулугун камсыздайт.

## **2. Коомдук транспортту өнүктүрүү.**

Маршруттук таксилердин үстөмдүгүнө альтернатива катары чоң сыйымдуу автобустарды киргизүү сунушталат. Коомдук транспорттун так графиги жана электрондук билеттер системасын киргизүү жүргүнчүлөр үчүн ыңгайлуулукту жогорулатат. Мындан тышкары, автобустардын экологиялык жактан таза түрлөрүнө (электробус, гибридик транспорт) акырындык менен өтүү зарыл.

## **3. Санариптик технологияларды колдонуу.**

Жол кыймылын башкарууда интеллектуалдык системаларды киргизүү натыйжалуу болот. Мисалы, «акылдуу» светофорлорду орнотуу аркылуу жол кыймылын реалдуу убакытта жөнгө салууга мүмкүнчүлүк түзүлөт. Мобилдик тиркемелер аркылуу айдоочулар тыгындыктын абалы, бош паркингдер жана коомдук транспорттун графиги жөнүндө маалымат алып турса, убакыт үнөмдөлүп, транспорттук баш аламандык азаят.

## **4. Айдоочулук маданиятты жогорулатуу жана коопсуздукту күчөтүү.**

Жол кыймылынын коопсуздугун камсыз кылуу үчүн айдоочулар арасында түшүндүрүү иштерин жүргүзүү, жол эрежелерин бузгандарга карата санкцияларды күчөтүү жана видео байкоо системасын кеңейтүү зарыл. Бул чаралар кырсыктардын санын азайтууга өбөлгө түзөт.

## **5. Социалдык-экономикалык пайдасы.**

Транспорттук системаны жакшыртуу шаардык калктын жашоо сапатын жогорулатат. Унаа тыгындыгынын азайышы убакытты үнөмдөп, өндүрүмдүүлүктү арттырат. Коомдук транспортту жакшыртуу калктын мобилдүүлүгүн күчөтөт, ал эми экологиялык транспортко өтүү абанын сапатын жакшыртып, коомдук саламаттыкка оң таасирин тийгизет.

Жыйынтыктап айтканда, Ош шаарындагы жол кыймылын жакшыртуу үчүн бир гана инфраструктураны өнүктүрүү жетишсиз. Санариптик башкаруу системалары, коомдук

транспортту модернизациялоо жана жол кыймылынын коопсуздугун жогорулатуу багытындагы комплекстүү чараларга туруктуу натыйжа берет.

## **Корутунду**

Бул илимий изилдөөнүн негизги максатына жетүү үчүн биринчи кезекте жолдогу автомобиль тыгындыгынын азайтуу зарылдыгы белгиленип, Ош шаарындагы жол кыймылынын учурдагы абалы талданып аны жакшыртуу боюнча практикалык сунуштарды иштеп чыгуу болду. Изилдөө жүрүшүндө статистикалык маалыматтар, жол кырсыктарынын динамикасы жана тыгындыктын себептери анализденди.

Жыйынтыктарга ылайык, шаардагы транспорттук система бир катар көйгөйлөргө туш болууда: айрымкөчөлөрдө интенсивдүү тыгындык, жол кырсыктарынын көптүгү, жол инфраструктурасынын жетишсиздиги жана транспорттук кызматтардын оптималдуу уюштурулбашы. Ошондой эле, санариптик технологияларды колдонуу жол кыймылын көзөмөлдөөнү жана башкарууну жакшыртууга чоң мүмкүнчүлүк берет.

Изилдөө көрсөткөндөй, жол кыймылын оптимизациялоо үчүн төмөнкү чаралар сунушталат:

1. Транспорттука гымды моделдөө жана симуляциялоо аркылуу эң эффективдүү маршруттарды аныктоо.

2. Санариптик башкаруу системаларын киргизүү (трафик сенсорлору, акылдуу светофорлор жана мониторинг системалары болуу зарыл же ITти транспорттук системасын киргизүү).

3. Жол кыймылынын коопсуздугун камсыз кылуу үчүн коомдук маалымдоо маалыматтарына жана жол эрежелерин сактоого көңүл буруу зарыл.

Жыйынтыктап айтканда, Ош шаарындагы жол кыймылын жакшыртуу ар тараптуу чараларды талап кылат жана санариптик технологияларды интеграциялоо менен транспорттук системанын натыйжалуулугун жана коопсуздугун олуттуу жогорулатууга болот. Бул айтылган сунуштар шаардык пландоодо жана жол кыймылын башкарууда колдонулса, айдоочулар жана жүргүнчүлөр үчүн шарттар кыйла ыңгайлуу болот.

**Колдонулган адабияттар:**

1. Кыргыз Республикасынын Улуттук статистикалык комитети. (2025). *Ош шаарынын калкы жана транспорт каражаттары боюнча маалымат*. Бишкек: Кыргыз Республикасы.
2. Ички иштер министрлигинин Жол кыймылы коопсуздугун камсыздоо башкармасы. (2025). *Ош шаарындагы жол кырсыктары боюнча статистика*. Бишкек: ИИМ.
3. World Road Statistics. (2022). *Traffic congestion and road safety reports*. Geneva: IRF Publications.
4. Litman, T. (2021). *Transport Planning and Traffic Management*. Victoria: Victoria Transport Policy Institute.
5. Pojani, D., & Stead, D. (2015). *Sustainable Urban Transport in the Developing World*. London: Routledge.
6. Rodrigue, J.-P. (2020). *The Geography of Transport Systems*. New York: Routledge.
7. Shaheen, S., & Cohen, A. (2019). *Innovative Mobility Solutions for Urban Areas*. Transportation Research Board.

УДК 662.74

**Осекова Гульбара Арыновна<sup>1</sup>,**  
*старший преподаватель*  
**Токторбаева Гульсум Полотовна<sup>2</sup>,**  
*преподаватель*

**ДИНАМИКА ГАЗОВЫХ КОМПОНЕНТОВ ПРИ ТЕРМИЧЕСКОМ РАЗЛОЖЕНИИ  
В ПРОЦЕССЕ ПИРОЛИЗА ЧАНГЕНТСКОГО УГЛЯ  
ИЗ УЗГЕНСКОГО УГОЛЬНОГО БАСЕЙНА И КЫРГЫЗСКОГО (ГРЕЦКОГО) УГЛЯ**

**Осекова Гулбара Арынова<sup>1</sup>,**  
*улук окутуучусу*  
**Токторбаева Гүлсүн Полотовна<sup>2</sup>,**  
*окутуучусу*

**ӨЗГӨН КӨМҮР БАСЕЙНИНИН ЧАНГЕНТ КӨМҮРҮНҮН ЖАНА КЫРГЫЗ (ГРЕК) ЖАНГАК  
КӨМҮРҮНҮН ПИРОЛИЗ ПРОЦЕССИНДЕГИ ТЕРМИКАЛЫК АЖЫРОО УЧУРУНДАГЫ ГАЗ  
КОМПОНЕНТТЕРИНИН ДИНАМИКАСЫ**

**GulbaraArynovnaOsekova<sup>1</sup>,**  
*Senior Lecturer at Osh Technological University*  
**GulsumPolotovnaToktorbaeva<sup>2</sup>,**  
*Lecturer at Osh State University*

**DYNAMICS OF GAS COMPONENTS DURING THE THERMAL DECOMPOSITION PROCESS  
IN THE PYROLYSIS OF CHANGENT COAL FROM THE UZGEN COAL BASIN  
AND KYRGYZ (WALNUT) COAL**

<sup>1</sup>*Ошский технологический университет им. М.М.Адышева, Ош, Кыргызская Республика*

<sup>2</sup>*Ошский государственный университет, Ош, Кыргызская Республика*

<sup>1</sup>*М.М. Адышев ат. Ош технологиялык университети, Ош, Кыргыз Республикасы*

<sup>2</sup>*Ош мамлекеттик университети, Ош, Кыргыз Республикасы*

<sup>1</sup>*Osh Technological University named after. M.M. Adysheva, Osh, Kyrgyz Republic*

<sup>3</sup>*Osh State University, Osh, Kyrgyz Republic*

**Аннотация.** В данной статье исследовано изменение состава газовой фазы (CO<sub>2</sub>, CnHm, CO, H<sub>2</sub>S, CH<sub>4</sub>) в зависимости от температуры и времени разложения при пиролизе Чангентского каменного угля из Узгенского угольного бассейна и кыргызского (грецкого) угля. Состав газов определялся с помощью газоанализаторов СИГНАЛ-Н и СИГНАЛ-ЭМ в температурном диапазоне 300–800°C и при временных интервалах 0,3–1,0 с. Согласно полученным данным, газы CO<sub>2</sub> и CH<sub>4</sub> преобладали преимущественно при низких и средних температурах, тогда как концентрации H<sub>2</sub>S и CO увеличивались с ростом температуры. Углеводороды (CnHm) активно накапливались в области средних температур и начинали уменьшаться при более высоких температурах. Полученные результаты представляют важную информацию для эффективного использования газовых продуктов пиролиза угля и оптимизации технологических режимов.

**Ключевые слова:** Чангентский уголь, кыргызский грецкий орех, пиролиз, газовый состав, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>S, температурный режим.

**Аннотация:** Бул макалада Өзгөн көмүр бассейнинин Чангент таш көмүрүнүн жана кыргыз (грек) жаңгак көмүрүнүн пиролиз процесси учурундагы температура жана ажыроо убактысына жараша газдык фазадагы компоненттердин ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{C}_n\text{H}_m$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{CH}_4$ ) өзгөрүшү изилденди. Газдардын курамы СИГНАЛ-Н жана СИГНАЛ-ЭМ газоанализаторлорунун жардамы менен 300–800 °C температуралык диапазонунда жана 0,3–1,0 с убакыт интервалында аныкталды. Алынган маалыматтарга ылайык,  $\text{CO}_2$  жана  $\text{CH}_4$  газдарынын негизинен төмөнкү жана орто температураларда чыгуусу басымдуулук кылса,  $\text{H}_2\text{S}$  жана  $\text{CO}$  концентрациясы температура жогорулаган сайын көбөйгөнү байкалды. Углеводороддор ( $\text{C}_n\text{H}_m$ ) орто температуралык зоналарда активдүү көбөйүп, жогорку температурада азая баштады. Алынган натыйжалар көмүр пиролизи процессинин газдык продукттарын эффективдүү пайдалануу жана технологиялык режимдерди оптималдаштыруу үчүн маанилүү маалыматтарды берет.

**Ключевые сөздөр:** Чангент көмүрү, кыргыз жаңгагы, пиролиз, газдык курам,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ , температуралык режим.

**Annotation.** This article investigates the changes in the gas-phase components ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{C}_n\text{H}_m$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{CH}_4$ ) depending on temperature and decomposition time during the pyrolysis of Chagent coal from the Uzgen coal basin and Kyrgyz (walnut) shell coal. The composition of gases was determined using SIGNAL-N and SIGNAL-EM gas analyzers within the temperature range of 300–800 °C and at time intervals of 0.3–1.0 seconds. According to the obtained data,  $\text{CO}_2$  and  $\text{CH}_4$  gases predominated mainly at low and medium temperatures, while the concentrations of  $\text{H}_2\text{S}$  and  $\text{CO}$  increased with rising temperature. Hydrocarbons ( $\text{C}_n\text{H}_m$ ) actively accumulated in the medium-temperature region and began to decrease at higher temperatures. The results provide valuable information for the efficient utilization of gaseous products from coal pyrolysis and the optimization of technological parameters.

**Keywords:** Chagent coal, Kyrgyz walnut, pyrolysis, gas composition,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ , temperature regime.

### Киришүү

Көмүрдүн термикалык ажыроосу (пиролиз) — бул көмүрдү кычкылтексиз шартта жогорку температурада ысытуу аркылуу катуу (кокс), суюк (чайыр) жана газ фазаларындагы продукттарды алуу процесси.

Изилдөөнүн объектиси катары Чангент кенинен алынган таш көмүр жана кыргыз (грек) жаңгагы колдонулган. Көмүр алдын ала кургатылып, стандарттык лабораториялык үлгү даярдалган. Пиролиз учурунда бөлүнүп чыккан газдар — көмүрдү кайра иштетүүнүн маанилүү бөлүгү болуп саналат, анткени алардан энергия алуу жана химиялык өнөр жайда продукцияларды алууда колдонуу мүмкүнчүлүктөрү кеңири. Чангент таш көмүрү, грек жаңгагы Кыргызстандагы энергетикалык жана өнөр жайлык мааниге ээ анткени курамында көмүртек 84,3% кездешет ошондуктан, болгон кен булактарынын бири. Анын пиролизи учурунда газдардын бөлүнүү мүнөздөмөлөрүн изилдөө, процесстин оптималдуу температуралык ре-

жимдерин аныктоо жана алынган продукттарды рационалдуу пайдалануу үчүн негизги маалыматтарды берет.

Бул изилдөөнүн максаты Чангент көмүрүнүн жангак көмүрүнүн пиролизи учурунда 300–800 °C температура диапазонунда жана ар кандай убакыт чекиттеринде (0,3–1,0 секунда) бөлүнгөн газдардын ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{C}_n\text{H}_m$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{CH}_4$ ) курамынын динамикасын аныктап, алардын температурага жана убакытка жараша өзгөрүшүн талдоо.

Бул изилдөөдө Чангент көмүрүнүн жангак көмүрүнүн пиролизи учурунда бөлүнүп чыккан газдардын курамы СИГНАЛ-Н жана СИГНАЛ-ЭМ газоанализаторлорунун жардамында аныкталды жана газ компоненттеринин температурага жана ажыроо убактысына жараша өзгөрүшү изилденди.

Чангент жана жангак көмүрлөрүнүн пиролизинде 300–800 °C температура аралыгында пайда болгон газдардын курамынын ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{C}_n\text{H}_m$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{CH}_4$ ) динамикасын изилдеп, алардын температурага жана убакытка жараша өзгөрүү мүнөзүн аныкталды.

### Эксперименттин жүргүзүлүшү

**1. Үлгүнү даярдоо:** Көмүр кургатылып, 0,5–1,0 мм майдалыктамайдаланган.

**2. Ысытуу режими:** Үлгү пиролиздик реакторго салынды жана 300–800 °C аралыгында кычкылтексиз шартта ысытылды: эксперимент үч негизги температура диапазонунда жүргүзүлдү: 300–400 °C; 500–600 °C; 700–800 °C.

### 3. Газдарды чогултуу жана талдоо:

о Газдар ар бир температура диапозонунда 0,3 с, 0,6 с жана 1,0 с убакытчекиттеринде чогултулду;

о Газдардын курамындагы CO<sub>2</sub>, CnHm, CO, H<sub>2</sub>S, CH<sub>4</sub> үлүштөрү салмактык пайыз менен аныкталды.

Эксперимент учурунда газдардын чыгышы жабык система аркылуу жүргүзүлүп, коопсуздук талаптары сакталды. Газдардын курамы массалык пайыздык үлүштөр менен өлчөндү жана ар бир температура режиминде убакыттын ар кандай чекиттеринде катталды жана алынган газдардын курамы 1-таблицада көрсөтүлгөн.

1-таблица

Чангет көмүрүнөн пиролиз процессинде алынган газдардын курамы

Температура (°C)	Убакыт (сек)	CO <sub>2</sub> (%)	CnHm (%)	CO (%)	H <sub>2</sub> S (%)	CH <sub>4</sub> (%)
300–400	1,0	24,71	6,18	24,71	17,92	26,46
	0,3	20,14	5,49	20,82	26,37	27,10
	0,6	17,49	4,36	27,43	24,77	18,69
500–600	1,0	30,14	9,80	21,56	19,80	18,70
	0,3	14,65	4,53	22,66	37,17	20,94
	0,6	11,79	3,87	29,76	28,72	17,12
700–800	1,0	25,34	3,25	22,36	23,60	18,13
	0,3	11,55	2,88	26,69	36,85	21,31
	0,6	9,23	5,32	29,63	36,88	16,94

### Грек (жаңгак) көмүрүнүн пиролиз процессинде алынган газдардын курамы

Температура (°C)	Убакыт (сек)	CO <sub>2</sub> (%)	CnHm (%)	CO (%)	H <sub>2</sub> S (%)	CH <sub>4</sub> (%)
300–400	1,0	22,85	7,42	21,53	16,37	31,83
	0,3	18,64	6,15	19,77	23,48	31,96
	0,6	15,27	5,01	25,68	22,15	31,89
500–600	1,0	26,43	10,11	24,36	19,22	19,88
	0,3	13,57	5,04	21,43	39,61	20,35
	0,6	11,06	4,37	28,84	31,02	24,71
700–800	1,0	23,11	3,08	25,17	24,43	24,21
	0,3	10,94	2,75	29,26	35,44	21,61
	0,6	8,58	5,11	30,12	36,23	19,96

1-таблицадан көрүнүп тургандай:

CO<sub>2</sub>: 500–600 °C аймагында максималдуу мааниге (≈ 30 %) жетет, андан кийин жогору температурада бир аз төмөндөйт.

CnHm: 300–400 °C те орточо деңгээлде, 500–600 °C аймагында көбөйүп (≈ 9,8 %), 700–800 °C де төмөндөйт.

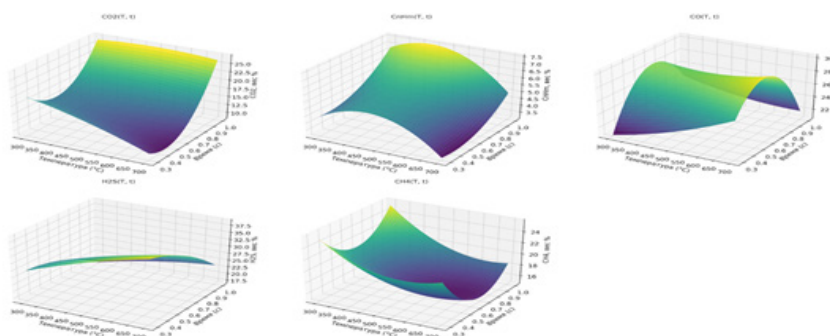
CO: төмөнкү температурада жогору (≈ 24–27 %), орто температурада бир аз төмөн-

дөп, 700–800 °C де кайрадан көбөйөт.

H<sub>2</sub>S: температура көтөрүлгөн сайын көбөйөт, айрыкча 500–800 °C аймагында максимумга жетет (≈ 36–37 %).

CH<sub>4</sub>: баштапкы стадияда эң жогору (≈ 26–27 %), бирок температура көтөрүлгөн сайын төмөндөйт (≈ 16–18 %).

Изилдөөнүн натыйжалары 1-сүрөттөгү графиктерде чагылдырылды.



1-сүрөт. Газдардын концентрациясынын температурага жана убакытка жараша өзгөрүшү: Температуралык диапазондор боюнча диаграммалар: 300–400 °C, 500–600 °C, 700–800 °C; ар бир газ үчүн линиялык графиктер ( $t = 1,0$  сек боюнча).

Бул графиктер газдардын концентрациясынын температурага жана убакытка жараша өзгөрүшүн көрсөтүп турат. Мындан ар бир температуралык диапазон боюнча графиктердин анализдесек, анда төмөнкүдөй жыйынтыктарды чыгарууга болот:

300–400 °C. Бул диапазондо газдардын концентрациясы, температуранын жогорулашы менен жогорулайт. Төмөнкү температураларда газдардын реакциялык мүмкүнчүлүгү жогору, андыктан концентрациянын жогорулашы байкалат. Бул температуралардын интервалында көптөгөн химиялык реакцияларда активдүү болуп саналат;

500–600 °C : Температуралар жогорулаганда газдардын концентрациясы дагы жогорулайт, бирок бул жерде реакциянын ылдамдыгы жана концентрациянын өзгөрүүсү ортосундагы байланыш өзгөрүшү мүмкүн жана температуранын бул диапазондо газдардын концентрациясы көбүнчө туруктуу болуп, белгилүү бир деңгээлге жетиши мүмкүн. Демек, реакциянын динамикасы жанатуруктуулугу бул температураларда маанилүү роль ойнойт.

700–800 °C: Жогорку температураларда газдардын концентрациясы кескин өзгөрүшү мүмкүн, бул жерде реакциянын ылдамдыгы максималдуу болушу мүмкүн.

Алынган графиктерде концентрациянын жогорулашы жана кийинчерээк төмөндөшү байкалат, бул реакциянын жыйынтыгынын туруктуулугун көрсөтөт жана бул температураларда көптөгөн өнөр жай процесстеринде газдардын активдүүлүгү жогорулайт, бул эффективдүү реакцияларды камсыздайт.

Демек, температура жогорулаган сайын, газдардын концентрациясы да жогорулайт.

Ар бир диапазон үчүн реакциялык динамика жана газдардын активдүүлүгү ар кандай, бул изилдөөдө маанилүү факторлорду аныктоого жардам берет. Бул анализдер келечектеги эксперименттер үчүн негиз түзүп, газдардын реакциялык механизмдерин тереңирээк түшүнүүгө мүмкүнчүлүк берет.

Эксперименттик изилдөөлөр Чангент таш көмүрүнүн, жангак көмүрүнүн пиролиз процессинде газдык фазадагы компоненттердин курамын аныктоого багытталган. Бул бөлүктө изилдөөнүн объекттери, колдонулган шаймандар жана методдор, ошондой эле эксперименттин жүрүшү баяндалат. Бул эксперимент Чангент көмүрүнүн кыргыз жангак көмүрүнүн пиролизи учурунда газдык продукттардын динамикасын аныктап, пиролиз процессинин оптималдуу шарттарын изилдөөгө мүмкүндүк берди. Алынган натыйжалар газдардын эң активдүү бөлүнгөн температуралык зоналарын жана алардын өзгөрүү тенденцияларын аныктоого өбөлгө түздү.

Чангент жана жангак көмүрүнүн пиролизинде газдардын курамы температурага жана ажыроо убактысына олуттуу түрдө көз каранды:

- $\text{CO}_2$  жана  $\text{CO}$  баштапкы жана орто температура басымдуулук кылат;
- $\text{CH}_4$  төмөн температурада көп бөлүнөт;
- $\text{H}_2\text{S}$  орто жана жогорку температурада көбөйөт;
- Углеводороддор ( $\text{C}_n\text{H}_m$ ) 500–600 °C диапазонунда активдүү көбөйүп, жогорку температурада азаят.

Бул маалыматтар пиролиз процесстерин оптималдаштыруу жана алынган газдарды өндүрүштө колдонуу үчүн маанилүү.

**Колдонулган адабияттар:**

1. Ofoe, J. T. A review on coal pyrolysis and gasification. — *International Journal of Energy Research*, 2022. (Көмүрдүн пиролизи жана газификациясы боюнча илимий обзор).
2. Morgan, T. J. Pyrolysis of Coals and Biomass: Analysis of Thermal Breakdown and Its Products. — *Fuel*, 2021. (Көмүр жана биомассалардын пиролиз процессиндегитермикалык ажыроо сужана газ компоненттеринин анализи).
3. Liu, N. ж.б. Co-pyrolysis Behavior of Coal and Biomass: Synergistic Effect, TG-FTIR Studies. — *Energy & Fuels*, 2023. (Көмүр менен биомассаны биргелештирип пиролиздөө боюнча TG-FTIR изилдөө).
4. Aspiazu-Méndez, A. ж.б. Analysis of the Solar Pyrolysis of a Walnut Shell. — *Energies (MDPI)*, 2023. (Жаңгаккабыгынын күн энергиясындагы пиролизи боюнча эксперимент).
5. Fan, F. ж.б. Thermal behaviour of walnut shells by thermogravimetry and evolved gas analysis. — *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 2022. (Жаңгаккабыгынын термогравиметриялык анализи жана газдардын бөлүнүшү изилдөө).
6. Wardach-Świącicka, I. Prediction of Pyrolysis Gas Composition Based on the Thermal Behaviour of Carbonaceous Materials. — *Energies*, 2023. (Көмүр тектүү материалдардын пиролиз газдарынын курамына ала эсептөө модели).
7. Токторбаева Г. П., Осекова Г. А. Динамика газовых компонентов при термическом разложении углей Узгенского бассейна и биомасс. — *Материалы научно-практической конференции ОшМУ*, 2024. (Өзгөн көмүр бассейнидеги жана биомассалардагы газ компоненттеринин динамикасы).
8. Мамасадыков С. М. Исследование термического разложения углей Кыргызстана. — *Вестник Кыргызско-Российского Славянского университета*, 2022. (Кыргызстандын көмүрлөрүнүн термикалык ажыроо процессин изилдөө).
9. Абдрахманов Т. А. Пиролиз углей Ферганской долины и анализ газовых продуктов. — *Журнал «Энергетика и экология»*, 2023. (Фергана өрөөнүнүн көмүрлөрүнүн пиролизи жана алынган газдардын анализи).
10. Жолдошев Б. Б. Термическое поведение Чангентского угля при различных температурах. — *Сборник трудов ОшТУ*, 2024. (Ар түрдүү температурадагы Чангент көмүрүнүн термикалык жүрүм-туруму).

УДК 66.08

**Сабилов Батырбек Зулумович,**  
*кандидат технических наук техника илимдеринин кандидаты*  
**Джапарова Шакархон,**  
*кандидат химических наук*  
**Азизова Айзат Камалидиновна,**  
*ст.лаб.лаборатории*

**ИССЛЕДОВАНИЕ СУХОГО ОБОГАЩЕНИЯ УГЛЕЙ КАРА-ДОБО И ВЛИЯНИЕ  
ФРАКЦИОННОГО СОСТАВА НА ОБОГАТИМОСТЬ.**

**Сабилов Батырбек Зулумович,**  
*техника илимдеринин кандидаты*  
**Джапарова Шакархон,**  
*химия илимдеринин кандидаты*  
**Азизова Айзат Камалидиновна,**  
*ага лаборант*

**КАРА-ДӨБӨ КӨМҮРЛӨРҮН КУРГАК БАЙЫТУУ ЖАНА ФРАКЦИЯЛЫК  
КУРАМДЫН БАЙЫТУУГА ТИЙГИЗГЕН ТААСИРИН ИЗИЛДӨӨ.**

**Sabirov Batyrbek Zulumovich,**  
*Candidate of Technical Sciences, Head of the Laboratory*  
**Japarova Shakarkhon,**  
*Candidate of Chemical Sciences, Senior Researcher at the Laboratory*  
**Azizova Aizat Kamalidinovna,**  
*Senior Laboratory Assistant, Laboratory*

**STUDY OF DRY BENEFICIATION OF KARA-DOBO COALS AND THE INFLUENCE  
OF FRACTIONAL COMPOSITION ON ENRICHABILITY**

*Институт природных ресурсов им. А.С. Джаманбаева ЮО НАН КР ПКР  
Ош, Кыргызская Республика*

*КРП КР УИА ТБ А.С. Джаманбаев ат. Жаратылыш байлыктары институту,  
Ош, Кыргыз Республикасы*

*Institute of Natural Resources named after A.S. Dzhamanbaev SB NAS KR PKR,  
Osh, Kyrgyz Republic*

**Аннотация.** В настоящем исследовании проанализированы современные методы сухого обогащения, влияние фракционного состава на эффективность процессов, оптимальные технологические параметры и перспективы сухого обогащения углей месторождения Кара-Добо.

**Ключевые слова:** сухое обогащение, уголь, Кара-Добо, пневматическое обогащение, псевдооживленный слой, сепарация, фракция угля, плотность угля, обогатимость.

**Аннотация.** Бу изилдөөдө Кара-Добокенин көмүрлөрүн кургак кычкылдык менен байытуу боюнча заманбап ыкмалар, фракциялык курамдын процесстердин натыйжалуулугунатийгизген таасири, оптималдуу технологиялык параметрлер жана кургак байытуу кычкылдыгынын өлчөмдөрү аныкталган.

**Негизгисөздөр:** кургак байытуу, көмүр, Кара-Добо, пневматикалык байытуу, жалган суюктуктар, сепарация, көмүр фракциясы, көмүрдүн тыгыздыгы, байытуу жаңы өлчөмдөрү.

**Annotation.** This study analyzes modern methods of dry coal beneficiation, the influence of fractional composition on process efficiency, optimal technological parameters, and the prospects for dry beneficiation of coals from the Kara-Dobo deposit.

**Keywords:** dry beneficiation, coal, Kara-Dobo, pneumatic beneficiation, fluidized bed, separation, coal fraction, coal density, washability.

### Введение

Обогащение угля превращает угольное сырье в товарный продукт, способный конкурировать на рынке органических энергоносителей с нефтью и газом. На сегодняшний день во всех индустриально развитых странах обогащению подвергается от 70 до 90% всех добываемых каменных углей, в частности, в ФРГ – 95%, в Великобритании – 75%, в США – 55%. Но мировыми лидерами в обогащении угля являются ЮАР и Австралия, где обогащается 100% экспортируемого угля.

Сухое обогащение угля представляет собой альтернативу снижению влажным методам, особенно актуальную в регионах с дефицитом водных ресурсов и суровыми климатическими условиями [1].

В работе [1] систематически рассмотрены перспективные исследовательские работы по сухому обогащению угля, описанные в литературе за последние 5 лет, и обсуждается прогресс в разработках сухого обогащения угля во всем мире.

Одним из непрерывно развивающихся способов обогащения углей является воздушная сепарация. Преимущества данного способа обусловлены возможностью значительного снижения материалоемкости, энергозатрат и уменьшения расхода технической воды. В настоящее время появились новые конструкции машин, характеризующиеся высокой эффективностью разделения в воздушном потоке приближающейся, а в ряде случаев превышающей показатели обогащения отсадкой или в тяжелых средах. Важным вопросом является проверка новых способов пневматического обогащения на различных типах угля [2-4].

Китайский университет горного дела и технологий провел многочисленные исследовательские работы по сухому обогащению угля за последние 30 лет и разработал ряд методов сухого обогащения для очистки угля, включая псевдооживленный слой с пузырьками [5,6,7], псевдооживленный слой с вибрацией [8].

По аналогии с Китаем, Индия сильно зависит от угля для удовлетворения своих энергетических потребностей в экономическом развитии [9]. Индийские ученые провели много исследовательских работ по использованию разделения в кипящем слое в плотной воздушной среде для очистки индийского угля [10,11,12] использовали сепаратор с псевдооживленным слоем в плотной воздушной среде для обогащения индийского угля с высокой зольностью в диапазоне размеров 0,025- 6 мм и изучали стабильность псевдооживления для создания расширяющегося слоя с условием нанопузырьков. Было отмечено, что стабильность псевдооживленного слоя оказала значительное влияние на четкое разделение между чистым углем и пустой породой. Был создан непрерывный сепаратор с псевдооживленным слоем в плотной воздушной среде с производительностью 600 кг/ч. Результаты разделения показывают, что содержание золы снижается с 40 % в исходном угле до примерно 32–35,5 % в чистом угольном продукте с выходом 60–72 %.

В процессе обогатимости крупных частицы (>5 мм) в пульсирующем воздушном потоке, показаны снижение зольности с 40% до 33% для фракционного состава от 5мм до 40мм. [13]. Разделение в псевдооживленном слое магнетита фракций 0,1-5мм показали эффективность и хорошее соответствие теоретическим кривым обогатимости [14]. Также высокий результат обогатимости показали специализированные наземные столы (SIU Airtable). Обогатимости подверглись фракции 1-6мм, эффективность: отвод 49% золы при сохранении 89% горючей массы [15]. Обработка тонких фракций и разделение по различию электростатических свойств, показали эффективность: снижение зольности с 36% до 14,9% для групп –177 мкм. [16,17]. Конусные псевдооживленные ступени с обогатимостью фракций 0,074-0,5 мм, также показали эффективность, в ре-

зультате идет снижение зольности с 31,82% до 12,33% при настройке углеконуса 10° [18]. Также известны обогатимость в классификационных колоннах размера частиц: <45 мкм, получены угли с зольностью <1% [19].

В целом, в процессе сухого обогащения угля наиболее значимыми свойствами угля,

способствующими разделению, являются плотность, фракция, трение, электричество и магнетит. В соответствии с различными механизмами обогащения, описанными в современной литературе, сухое обогащение угля в основном подразделяется на следующие пять категорий:

1-категория	разделение в кипящем слое с использованием плотной воздушной среды с внешним силовым полем или без него
2-категория	разделение в кипящем слое, основанное на разнице скоростей осаждения
3-категория	комбинированное сухое разделение
4-категория	трибоэлектростатическое разделение
5-категория	магнитное разделение

Эти пять категорий технологий имеют свои преимущества при переработке определенного угля или получении чистого угольного продукта определенного качества.

Технологии, относящиеся к категориям (1), (4) и (5), обычно характеризуются высокой эффективностью разделения, но высокими эксплуатационными расходами, что позволяет получать высококачественный чистый уголь. Напротив, технологии категорий (2) и (3) не требуют дополнительной плотной среды или энергии и обычно имеют большую производительность и низкую стоимость обработки, но низкую эффективность разделения из-за изначального ограничения механизма разделения. Эти технологии подходят для производства энергетического угля.

В условиях Кыргызстана особенно для угледобывающих предприятий расположенных на высокогорье, включая месторождение Кара-Добо Узгенского каменноугольного бассейна сухие технологии обогащения считаются особенно перспективными.

**Актуальность исследования** сухого обогащения угля месторождения Кара-Добо обусловлены тем, что уголь месторождения в основном ориентирован на экспорт, обогащение угля превращает угольное сырье в товарный продукт, способный конкурировать на рынке.

**Целью исследований** является сухое обогащение угля месторождение Кара-Добе методом сепарации и изучение влияния фракционного состава на обогатимость.

**Метод исследования** опирается на теоретические основы сепарации, направленный воздушный поток разделяет исследуемый уголь на фракции по плотности и определяются оптимальные условия разделения угля Кара-Добо и породных минералов в воздушных потоках.

**Результаты исследования.** Применение сухих методов предварительного обогащения рядовых углей на установках на базе пневматических сепараторов различного производства получает все более широкое применение на предприятиях обогащения. Использование метода вибропневматической сепарации позволяет создавать малогабаритные, компактные и мобильные обогатительные комплексы с круглогодичным циклом работы. При этом имеется возможность регулирования основных параметров процесса обогащения и автоматизированного управления.

Конструкция всех известных сепараторов основана на принципе пульсирующей подачи технологического воздуха под перфорированную деку. Бигармонический режим колебаний позволяет получать высокие технологические показатели и может применяться для выделения товарного продукта из углесодержащего сырья с широким диапазоном крупности и зольности [20-22].

Расслоение материала протекает в соответствии с законами гравитационного разделения частиц различных размеров и плотности в условиях стесненного их перемещения под воздействием воздушных по-

токов или сочетания воздушных потоков и механических встряхиваний, обеспечивающих разрыхление материала, необходимое для взаимного перемещения зерен. Результаты расслоения определяются влиянием этих воздействий, которые имеют одинаковую направленность по отношению к частицам разной крупности.

Под воздействием восходящих воздушных потоков частицы одинаковой крупности расслаиваются таким образом, что в нижних слоях концентрируются более тяжелые, а в верхних — более легкие; если частицы имеют одинаковую плотность, то в нижних слоях располагаются более крупные, а в верхних — более мелкие [20-22].

Элементы теории. Основные отличия воздушной среды от водной — более низкая плотность (1,23 и 1000 кг/м<sup>3</sup> соответственно) и незначительная вязкость. Поэтому ускорение свободного падения твердого тела плотностью  $\rho_T$  в воздушной среде плотностью  $\rho_B$  приблизительно равно ускорению свободного падения  $g$ :

$$a = g(\rho_T - \rho_B) / \rho_T = 9,81 \text{ м/с}^2.$$

Конечную скорость падения  $t_{\text{т}}$  (м/с) тела размером  $d$  (м), плотностью  $\rho_T$  (кг/м<sup>3</sup>) в воздушной среде определяют по формуле:

$$v_0 = \mu \sqrt{d(\rho_T - \rho_B) / \rho_B} = \mu \sqrt{d\rho_T / \rho_B}$$

где  $\mu$  — коэффициент сопротивления, зависящий от формы и плотности частиц, равный 5—5,5 м<sup>1/2</sup>/с.

Коэффициент равнопадаемости частиц в воздухе ниже коэффициента их равнопадаемости в водной среде. Например, при разде-

лении в воздушной среде угля плотностью 1200 кг/м<sup>3</sup> и породы плотностью 2400 кг/м<sup>3</sup> коэффициент равнопадаемости равен 2, в водной среде 7. Поэтому для обогащения в воздушной среде требуется более узкая шкала классификации. Однако на практике при обогащении углей в восходящем потоке воздуха наблюдается не свободное падение, а падение в стесненных условиях и скорости падения частиц никогда не достигают конечных скоростей; поэтому эффективное разделение углей и породы возможно и при более широкой шкале классификации, например, до 6 (13—75; 1—6 мм).

Важно также, что фактическое обогащение по более широкой шкале классификации обеспечивается мелкими частицами, поднятыми восходящим потоком воздуха, которые создают искусственную среду большей плотности, чем плотность воздуха.

Под воздействием механических встряхиваний частицы одинаковой крупности расслаиваются по плотности: внизу более тяжелые, вверху — более легкие. При одинаковой плотности частиц в нижних слоях концентрируются более мелкие, а в верхних — более крупные.

Нами была создана модель лабораторного сепаратора (рисунок 1), работа которой основана на принципе пульсирующей подачи технологического воздуха под перфорированную деку. Принцип работы такой модели позволяет изучить процесс расслоения угля по плотности.

Техническая характеристика такого сепаратора приведена в таблице 1.

**Таблица 1. Техническая характеристика лабораторного сепаратора**

№п/п	Наименование параметра и размерность	Величина
1.	Рабочая площадь разделения, см <sup>2</sup>	500
2.	Ширина деки, см	10
3	Производительность по исходному материалу, кг/ч,	10
4.	Крупность обогащаемого материала, мм	до 13
5.	Поверхностная влага материала, %	до 8
6.	Насыпная плотность материала, кг/м <sup>3</sup>	до 2,5

7.	Погрешность разделения (при максимальной производительности)	0,25
8.	Диапазон регулируемой частоты качания деки, с-1	3,0-6,0
9.	Габаритные размеры, мм	
	Длина	5000
	Ширина	100
	высота	500
10.	Установленная мощность вентилятора, Вт, не более	100

Методика исследований.

В целях определения расслоения угля по плотности нами проведены серия опытов. Исследуемый уголь размером 0-13мм по-

дается в бункер1, затем поступает в деку 3, подача воздуха осуществляется через вентилятор 2, скорость воздуха регулируется. Под воздействием воздуха идет расслоение угля по плотности.

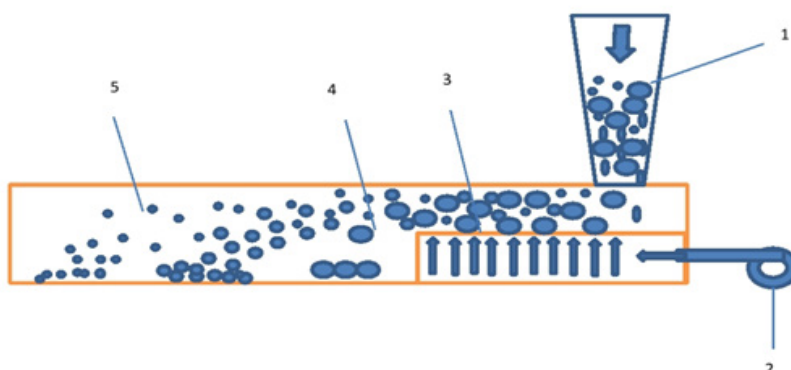


Рисунок 1. Сепаратор для изучения расслоения угля по плотности. 1-бункер для загрузки исследуемого угля; 2-воздуходувка; 3-дека; 4-расслоение угля по плотности; 5- расслоение

Исследованы принципы расслоения угля по плотности, фракционному составу, при различных потоках воздуха. Предварительные результаты показали, что расслоения угля по плотности на сортировочном

слое сильно зависит от размера частиц угля и потока воздуха, в нашем случае размеры частиц составили 0-6 мм, а поток воздуха составил 2, 4, 6 м/с. Результаты приведены в таблице 2.

**Таблица 2. Результаты расслоения угля по плотности на сортировочном слое.**

№п/п	Размер частицы, мм	Длина слоя, м	Скорость потока воздуха м/с
1	0-0,25	2,1	2
2	0-0,25	3,0	4
3	0-0,25	4,3	6
4	0,25-1,0	0,8	2
5	0,25-1,0	1,3	4
6	0,25-1,0	1,8	6
7	1,0-3,0	0,5	2
8	1,0-3,0	0,8	4
9	1,0-3,0	0,9	6
10	3,0-6,0	0,1	2
11	3,0-6,0	0,3	4
12	3,0-6,0	0,4	6

Длина слоя частиц размером 0-0,25 мм при потоке воздуха 2м/с составил 2,1 м, а при 4 м/с составил 3,0м, при 6 м/с составил 4,3 м. Также выход частиц размером 0,25-1,0 мм при потоке воздуха 2м/с составил 0,8м, при 4 м/с составил 1,3м, при 6 м/с составил 1,8м.

Также установлено, что в зависимости от длины слоя, т.е. от изменения размера частицы угля улучшаются теплотехнические характеристики исследуемого угля. Наблюдается, что зольность частиц угля с наименьшим размером ниже по сравнению с крупными частицами угля. Смотрим таблицу 3.

**Таблица 3. Зависимость теплотехнических характеристики угля от изменения размера частицы исследуемого угля**

№п/п	Размер частицы, мм	Зольность,%	Теплотворность Ккал/кг.
1	0-0,25	2,1	8100
4	0,25-1,0	4,5	7905
7	0-3,0	7,0	7670
10	0-6,0	13,2	7070

Как показано в таблице 3 угольные частицы размером 0-25мм с наименьшей плотности обладают наивысшим качеством по зольности и теплотворности.

Результаты этих исследований позволяют уточнить размеры и детали при конструировании сепаратора или других устройств сепарации угля, а также понять представление о расслоении угля по плотности в процессе сухого обогащения.

#### **Выводы**

1. Анализ работ по сухому обогащению углей показывает перспективность технологий и их применение вне зависимости от

климатических условий и выделяет ключевые преимущества технологий сухого обогащения: экономика водных ресурсов; круглогодичная работа в условиях высокогорья; снижение капитальных и эксплуатационных затрат; экологическая безопасность.

2. Исследованы принципы расслоения угля месторождения Кара-Добопо плотности, фракционному составу, при различных потоках воздуха. Результаты показали, что расслоения угля по плотности на сортировочном слое сильно зависит от размера частиц угля и потока воздуха, в зависимости от длины слоя, т.е. от изменения размера

частицы угля улучшается теплотехнические характеристики исследуемого угля.

3. Результаты этих исследований позволяет уточнить размеры и детали при

конструировании сепаратора или других устройств сепарации угля, а также понять представление о расслоении угля по плотности в процессе сухого обогащения.

#### Список литературы:

1. Y. Zhao, X. Yang, Z. Luo, C. Duan и S. Song, «Прогресс в развитии сухого обогащения угля», Международный журнал угольной науки и технологий, 2014. doi: [10.1007/S40789-014-0014-5](https://doi.org/10.1007/S40789-014-0014-5)
2. Дебердеев И.Х., Линев Б.И., Сазыкин Г.П. Повышение эффективности углеобогащительных фабрик в условиях изменчивости сырьевой базы // Обогащение руд. -2001. - №6. С. 67-71.
3. Люленков В.И., Кузьмин А.В., Качуров К.В., Кардаков А.Л., Бойко Д.Ю. Способ сухого обогащения. Патент РФ №2268787, 2005. Опубл. 27.01.2006.
4. Кузьмин А.В., Люленков В.И., Качуров К.В., Кардаков А.Л., Способ сухого обогащения угля. Патент РФ № 2282503, 2005. Опубл.27.08.2006.
5. Ло Чжэньфу, ЧэньЦинжу. Технология сухого обогащения угля в кипящем слое плотной воздушной среды.Международный журнал по переработке полезных ископаемых. Том 63, выпуск 3 ,ноябрь 2001 г., страницы 167-175);
6. Чжэньфу, Л., Цинжу, Ч. и Яомин, З. (2002). Сухое обогащение крупного угля с использованием кипящего слоя в плотной воздушной среде (ADMFB). CoalPreparation , 22 (1), 57–64. <https://doi.org/10.1080/07349340210504> ;
7. Чжао Ю.М., Ли Г.М., Ло З.Ф., Лян Ц.К., Тан Л.Г., Чэнь Ц.Ц., Син Х.Б. (2011a) Модульная технология сухого обогащения угля на основе кипящего слоя газа и твердого вещества. Журнал технологий Южного университета, 18(2):374–380 , [2011b](https://doi.org/10.1016/j.powtec.2008.02.001)
8. Чжэньфу Лоа, Маомин Фань аб, Юэмин Чжао, Сюсян Тао, Цинжу Чен, Цзэнцян Чэнь. Разделение сухого мелкого угля в зависимости от плотности в вибрационном псевдоожиженном слое /<https://doi.org/10.1016/j.powtec.2008.02.001>
9. Саху А.К., Трипати А., Бисвал С.К., Парида А. (2011) Исследование устойчивости сепаратора с кипящим слоем в плотной воздушной среде для обогащения высокозольного индийского угля. Int J CoalPrepUtili 31(3–4):127–148.)
10. Саху А.К., Бисвал С.К., Парида А. (2009) Разработка технологии кипящего слоя в плотной воздушной среде для сухого обогащения угля. Обзор. Int J CoalPrepUtili 29(4):216–241)
11. Саху А.К., Трипати А., Бисвал С.К., Парида А. (2011) Исследование устойчивости сепаратора с кипящим слоем в плотной воздушной среде для обогащения высокозольного индийского угля. Int J CoalPrepUtili 31(3–4):127–148),
12. Саху А.К., Трипати А., Бисвал С.К. (2013) Исследование динамики частиц в различных формах поперечного сечения сепаратора с псевдоожиженным слоем в плотной воздушной среде. Fuel 111:472–477.)
13. Т. ГуриЧаран, У. С. Чаттопадхай, К. М. П. Сингх, С. К. Кабирадж и Д. Д. Халдар, «Обогащение индийского угля с высоким содержанием золы, не коксующегося методом сухой отсадки», журнал «Minerals&MetallurgicalProcessingJournal», 2011. doi: [10.1007/BF03402320](https://doi.org/10.1007/BF03402320)
14. М. Фирдаус, Дж. П. О’Ши, Дж. Ошитани и Г. В. Фрэнкс, «Обогащение крупной угольной руды в сухом сепараторе с плотной средой и псевдоожиженным слоем», Международный журнал по подготовке и использованию угля, том 32, 2012. doi: [10.1080/19392699.2012.716801](https://doi.org/10.1080/19392699.2012.716801)
15. Х. Акбари, Л. А. Ака и М. К. Моханти, «Разработка нового сухого сепаратора для тонкодисперсных частиц», Minerals&MetallurgicalProcessing, 2018. doi: [10.19150/MMP.8289](https://doi.org/10.19150/MMP.8289)
16. С.О. Бада, Р. Фалькон и Л.М. Фалькон, «Потенциал электростатического разделения при обогащении мелкого южноафриканского угля перед его использованием – обзор», Журнал Южноафриканского института горного дела и металлургии, 2010 г.

17. Х. Бан, Т.-Х. Ли, Дж. Л. Шефер и Дж. М. Стенсель, «Характеристика сухого трибоэлектростатического обогащения угля и летучей золы с использованием анализа восстановления», 1996.
18. X. Fan, C. Zhou, L. Dong, C. Duan и Y. Zhao, «Обогащение угля с помощью конического псевдооживленного слоя с использованием магнетита с широким диапазоном размеров», 2020. doi: [10.1007/S42461-020-00195-9](https://doi.org/10.1007/S42461-020-00195-9)
19. З. Танака, Х. Сато, М. Каваи, К. Окада и Т. Такахашаши, «Сухой процесс очистки угля для получения высококачественного угля», Журнал химического машиностроения Японии, т. 29, 1996. doi: [10.1252/JCEJ.29.257](https://doi.org/10.1252/JCEJ.29.257)
20. Ли Г.М. Методы сухого обогащения угля: практика применения / Г.М. Ли, В.А. Груздев, В.И. Аникин // Уголь. – 2008. - № 9. – С. 58-61.
21. Новая технология сухого обогащения // Российский уголь. – 2003. – №1. – С. 28-29.
22. Анохин В.Д. Вибрационные сепараторы / В.Д. Анохин, Д.А. Плинс, В.Н. Монахов.- М.: Недра, 1991. – 156 с

УДК 662.66:66.012-52

**Ташполотов Ысламидин,**  
*доктор физических наук, профессор*  
**Тажикбаева Санайым Тойгонбаевна,**  
*старший преподаватель*

**ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА УГОЛЬНО-ВОДЯНЫХ СУСПЕНЗИЙ:  
АЛГОРИТМЫ И ИННОВАЦИИ**

**Ташполотов Ысламидин,**  
*Физика илимдеринин доктору, профессор*  
**Тажикбаева Санайым Тойгонбаевна,**  
*улук окутуучусу*

**СУУ - КӨМҮР СУСПЕНЗИЯСЫН ӨНДҮРҮҮНҮН ЦИФРАЛЫК ТРАНСФОРМАЦИЯСЫ:  
АЛГОРИТМДЕР ЖАНА ИННОВАЦИЯЛАР**

**Tashpolotov Yslamidin,**  
*doctor of physical and mathematical sciences, professor*  
**Tazhikbaeva Sanaiym Toigonbaevna,**  
*senior teacher*

**DIGITAL TRANSFORMATION OF COAL-WATER SUSPENSION PRODUCTION:  
ALGORITHMS AND INNOVATIONS**

*Ош мамлекеттик университети, Ош, Кыргыз Республикасы*  
*Ошский государственный университет, Ош, Кыргызская Республика*  
*Osh State University, Osh, Kyrgyz Republic*

**Аннотация.** Интеграция искусственного интеллекта (ИИ) в производство водоугольного топлива (ВУТ) совершенствует контроль ключевых параметров, таких как концентрация угля (0–30%) в смеси, обеспечивая стабильность и энергоэффективность ВУТ. Традиционные методы синтеза ВУТ страдают от недостаточной точности и длительного времени адаптации к изменениям характеристик сырья, что ограничивает их промышленную применимость. В данной статье представлен усовершенствованный алгоритм, сочетающий трансформерные нейросети, квантовую оптимизацию и гибридные физико-химические модели, разработанный для прецизионного управления концентрацией и дисперсностью угольных частиц. Детально описана многоуровневая архитектура ИИ-контроля, включающая трансформер для обработки изображений (VisionTransformer -ViT) для анализа морфологии частиц, глубокое обучение с подкреплением (DRL) для точного смешивания и генеративно-состязательные сети (GAN) для оптимизации гранулометрии. Применение данной системы позволяет снизить энергопотребление на 29% и себестоимость ВУТ на 31%, демонстрируя высокую актуальность для промышленного внедрения и перехода к углеродно-нейтральному энергетическому сектору.

**Ключевые слова:** водоугольное топливо (ВУТ), искусственный интеллект, трансформер для обработки изображений (VisionTransformer -ViT), глубокое обучение с подкреплением (DRL), генеративно-состязательные сети (GAN), квантовая оптимизация, коллоидная стабильность, цифровой двойник.

**Аннотация.** Жасалма интеллекттин (ЖИ) Суу-көмүротунун (СКО) өндүрүшүнө интеграцияланышы көмүрдүн концентрациясы (0–30%) сыяктуу негизги параметрлердикөзөмөл-

дөөнү түп-тамырынан бери өзгөртүп, СКОнун туруктуулугун жана энергия натыйжалуулугун камсыз кылууда. СКОну синтездөөнүн салттуу ыкмалары тактыктын жетишсиздигинен жана чийки заттын өзгөрүүлөрүнө ыңгайлашуу бактысынын узактыгынан улам азапчегип, алардын өнөр жайда колдонулушун чектейт. Бул макалада көмүр бөлүкчөлөрүнүн концентрациясын жана дисперстүүлүгүн жогорку тактыкта башкаруу үчүн иштелип чыккан, трансформердик нейротүйүндөрдү, кванттык оптималдаштырууну жана гибридик физикалык-химиялык моделдерди айкалыштырган өркүндөтүлгөн алгоритм сунушталат. Бөлүкчөлөрдүн морфологиясын талдоо үчүн визуалдык маалыматтарды иштетүүчү трансформер (Vision Transformer - ViT), так аралаштыруу үчүн тереңдетилген бекемдөөчү окутуу (DRL) жана гранулометрияны оптималдаштыруу үчүн генеративдик-атаандаштык түйүндөрдү (GAN) камтыган ЖИ-көзөмөлдөөнүн көп деңгээлдүү архитектурасы кеңири баяндалган. Бул системаны колдонуу энергия керектөөнү 29% га, ал эми СКОнун өздүк наркын 31% га төмөндөтүүгө мүмкүндүк берип, өнөр жайга киргизүү жана көмүртектик-нейтралдуу энергетикалык секторго өтүү үчүн жогорку актуалдуулугун көрсөтөт.

**Ачкыч сөздөр:** суу-көмүр отуну (СКО), жасалма интеллект (ЖИ), Vision Transformer (ViT), тереңдетилген бекемдөөчү окутуу (DRL), генеративдик-атаандаштык түйүндөр (GAN), кванттык оптималдаштыруу, коллоиддик туруктуулук, санариптик түгөй.

**Annotation.** The integration of Artificial Intelligence (AI) into Coal-Water Fuel (CWF) production is revolutionizing the control of key parameters, such as coal concentration (0–30%), ensuring CWF stability and energy efficiency. Traditional CWF synthesis methods suffer from insufficient accuracy and prolonged adaptation times to raw material changes, limiting their industrial applicability. This article presents an advanced algorithm combining transformer neural networks, quantum optimization, and hybrid physicochemical models, specifically designed for the precise control of coal particle concentration and dispersity. We detail a multi-level AI control architecture, including a Vision Transformer (ViT) for particle morphology analysis, Deep Reinforcement Learning (DRL) for accurate blending, and Generative Adversarial Networks (GANs) for granulometry optimization. The implementation of this system allows for a 29% reduction in energy consumption and a 31% reduction in CWF production cost, demonstrating its high relevance for industrial deployment and the transition toward a carbon-neutral energy sector.

**Keywords:** Coal-Water Fuel (CWF), Artificial Intelligence (AI), Vision Transformer (ViT), Deep Reinforcement Learning (DRL), Generative Adversarial Networks (GAN), Quantum Optimization, Colloidal Stability, Digital Twin.

## Введение

Глобальный энергетический переход, направленный на снижение зависимости от ископаемых видов топлива и уменьшение углеродного следа, создает спрос на новые альтернативные источники энергии.

В 2020 году общий объем потребления энергии в Китае составил 2,5–3,3 млрд тонн условного угля, в то время как потребление жидкого топлива достигло 0,43–0,48 млрд тонн. При этом дефицит нефти составил 0,23 млрд тонн, что соответствует примерно 50% от объема потребляемого жидкого топлива. Эти данные подчеркивают необходимость перехода к более эффективным и экологически чистым энергетическим технологиям.

В этом контексте водоугольные суспензии (ВУС) представляют собой перспективный вариант, который сочетает в себе преимущества угля и жидкого топлива. Этот инновационный неньютоновский состав (ВУС) обладает реологическими характеристиками в диапазоне 800–1200 мПа·с при скорости сдвига  $100 \text{ с}^{-1}$ , что делает его высокоэффективным топливом, сочетающим высокую энергетическую плотность угля с экологичностью и удобством транспортировки жидкого топлива. Однако ключевой проблемой, препятствующей его широкому промышленному внедрению, является недостаточная стабильность суспензии, которая критически зависит от точного поддержания концен-

### **трации угля, гранулометрического состава и реологических свойств.**

ВУС представляют собой концентрированные суспензии угольных порошков в воде и имеют нерегулярную структуру, характерную для угольных веществ. Они состоят из органической части, ассоциированной функциональными группами (в основном фенольными, карбонильными и карбоксильными группами), и неорганической части (пирит, глина, минералы), которые определяют зольность.

Традиционные методы контроля, основанные на эмпирических подходах и запаздывающих лабораторных анализах, не способны оперативно реагировать на флуктуации качества исходного угля (зольность, влажность, морфология частиц). Это приводит к седиментации, расслоению топлива и, как следствие, к снижению коэффициента полезного действия (КПД) и увеличению эксплуатационных расходов.

Настоящая работа посвящена устранению этого фундаментального разрыва путём интеграции передовых технологий искусственного интеллекта (ИИ) в процесс производства водоугольного топлива (ВУТ) [1]. Искусственная нейронная сеть является одним из быстро развивающихся направлений науки об искусственном интеллекте и активно развивается [2]. Метод искусственных нейронных сетей очень эффективен для реализации нелинейного отображения и решения задач типа «чёрный ящик» или «серый ящик», в которых связь между входными и выходными факторами неясна. ИИ-управление позволяет перейти от реактивного контроля к предиктивному и адаптивному синтезу, где концентрация угля (в диапазоне 0–30%) и другие параметры регулируются в реальном времени с беспрецедентной точностью.

**Цель исследования - разработка и анализ многоуровневого ИИ-алгоритма для обеспечения максимальной коллоидной стабильности водно-угольной суспензии (ВУС), минимизируя расход реагентов и оптимизируя весь технологический цикл.**

#### **1. Многоуровневая архитектура ИИ-контроля**

Для достижения целевых показателей стабильности и энергоэффективности пред-

ложена многоуровневая архитектура системы управления на основе ИИ, которая действует на всех этапах производства ВУТ — от подготовки сырья до финального смешивания.

#### **1.1 Интеллектуальная подготовка сырья**

*3D-анализ угольных частиц: VisionTransformer (ViT)*

Для обеспечения оптимальной плотности упаковки частиц и минимизации вязкости конечной суспензии критически важен детальный анализ морфологии угольных частиц, которым присуща нерегулярная структура. Для неразрушающего 3D-анализа морфологии и внутренней структуры частиц используется VisionTransformer (ViT). Модель обрабатывает данные, полученные с помощью высокоточных КТ-сканеров (разрешение 2.5 мкм). В контексте анализа ВУТ компьютерная томография позволяет точно измерять ключевые параметры частиц [3]:

- **Фрактальную размерность (1.8–2.3)**, характеризующую пористость и площадь поверхности.

- **Наличие микротрещин (длина  $\leq 5$  мкм)**, влияющих на гидратацию и прочность частиц.

- **Плотность упаковки (оптимум: 65–72%)**, определяющую максимальную концентрацию угля в суспензии.

*Пример:* При обнаружении 12% частиц  $>100$  мкм ViT, на основе анализа паттернов, инициирует коррекцию скорости измельчения на 15%, снижая долю крупных фракций до 4% за 8 минут, что в 3 раза быстрее традиционных методов.

С целью достижения целевой стабильности и энергоэффективности предложена архитектура ИИ-контроля, действующая на нескольких этапах производства ВУТ, от подготовки сырья до финального смешивания.

*Динамическая сушка.* Для минимизации энергозатрат и предотвращения пересушивания применяется гибридная модель, объединяющая LSTM-нейросети (LongShort-Term Memory долгой краткосрочной памятью) для прогнозирования временных рядов и уравнения диффузии для физического описания процесса.

Модель прогнозирует влажность с точностью  $\pm 0.5\%$  и адаптирует температуру

сушки (20–100°C) под конкретный состав угля и вводится поправочный коэффициент  $\delta(t)$ , рассчитываемый LSTM-сетью и вносимый в физическую модель:

$$\delta(t) = 0.03 \cdot \sin(0.1t) + 0.15 \cdot e^{-0.05t}, \quad (1)$$

где  $\delta(t)$  - поправочный коэффициент, вносимый LSTM-нейросетью в физическую модель в зависимости от времени ( $t$ ), учитывающий нелинейные эффекты, связанные с капиллярной влагой и гигроскопичностью; первый член ( $0.03 \cdot \sin(0.1t)$ ) имитирует периодические колебания, связанные с нестабильностью процесса и внешними факторами; второй член ( $0.15 \cdot e^{-0.05t}$ ) моделирует быстро затухающие нелинейные эффекты, такие как начальная дегидратация поверхности или гигроскопические свойства конкретного вида угля.

### 1.2 Точное смешивание компонентов

*Глубокое обучение с подкреплением (DRL)*

DRL-агент выступает в роли основного регулятора, управляя подачей угля, воды и стабилизаторов в реальном времени. Функция  $R$  (функция смешивания компонентов - функция награда) учитывает не только целевую концентрацию, но и реологические характеристики, необходимые для стабильности ВУТ:

- Вязкость (целевая:  $800 \pm 50$  мПа·с), ключевой параметр стабильности.
- Температурные градиенты (допуск:  $\pm 1.5^\circ\text{C}/\text{мин}$ ), влияющие на кинетику растворения ПАВ;
- Зольность (корреляция:  $+1\%$  зольности  $\rightarrow -1.2\%$  угля), корректируя концентрацию для поддержания энергетического эквивалента.

Функция смешивания компонентов  $R$ :

$$R = 1 - 0.4 \cdot (1 - |T - 35|/10) + 0.6 \cdot e^{-200|\eta - 800|}, \quad (2)$$

где  $T$  — температура,  $\eta$  — вязкость; компонент температуры ( $0.4 \cdot (1 - |T - 35|/10)$ ) оценивает отклонение текущей температуры ( $T$ ) от целевого значения  $35^\circ\text{C}$ , а компонент вязкости ( $0.6 \cdot e^{-200|\eta - 800|}$ ) отклонение текущей вязкости ( $\eta$ ) от целевого значения  $800$  мПа·с., т.е. функция  $R$  разработана таким образом, чтобы агент DRL стремился одновременно к целевой температуре и вязкости. Более высокий вес ( $0.6$ ) и экспоненциальная форма второго члена показывают, что поддержание целевой вязкости ( $800$  мПа·с) является более приоритетным и критическим условием для

получения стабильного ВУТ, чем точное попадание в целевую температуру.

## 2. Инновационные технологии стабилизации

### 2.1 Генеративно-состязательные сети (GAN) для гранулометрии

В процессе синтеза стабильного водугольного топлива оптимальное распределение частиц (гранулометрический состав) является важным фактором, определяющим коллоидную стабильность. GAN используются для синтеза идеальных профилей распределения частиц с медианным диаметром  $D_{50} = 45\text{--}55$  мкм, минимизирующих скорость седиментации [4].

GAN-модель включает в себя следующие физические законы:

- Уравнение Стокса для скорости седиментации:

$$v = 2r^2(\rho_p - \rho_f)g / 9\eta, \quad (3)$$

где  $v$  — скорость,  $r$  — радиус частицы,  $\rho_p$  — плотность частицы,  $\rho_f$  — плотность жидкости,  $\eta$  — вязкость.

- Энергетический барьер DLVO (Дерягина–Ландау–Вервея–Овербека) для предотвращения коагуляции [5]:

$$VT > 15k_B T, \quad (4)$$

где  $V_T$  — общий потенциал взаимодействия,  $k_B$  — постоянная Больцмана,  $T$  — температура.

Таким образом, применение GAN позволяет сгенерировать профиль с пиком  $50$  мкм и стандартным отклонением  $\sigma = 12$  мкм, что приведет к снижению осаждения на  $40\%$  по сравнению со стандартным шаровым помолом [6].

### 2.2 Самообучающиеся полимерные добавки (ПАВ)

ИИ-система позволяет управлять структурой поверхностно-активных веществ (ПАВ), которые имеют адаптивную структуру, с помощью целенаправленных импульсов (электрических или ультразвуковых). Это обеспечивает динамическое реагирование на условия синтеза:

- при  $\text{pH} > 7.5$ : ИИ инициирует формирование разветвленных цепей для усиления стерического отталкивания между частицами;
- при  $T > 40^\circ\text{C}$ : ИИ вызывает упрочнение пространственной сетки, увеличивая модуль упругости  $G'$  на  $30\%$  для предотвращения коагуляции (см. таблицу 1).

**Таблица 1. Сравнение ключевых показателей оптимизации гранулометрии ВУТ (классический метод против GAN-системы)**

<i>Параметр</i>	<i>Классический метод</i>	<i>GAN-система</i>
Время адаптации	2–4 часа	8–15 минут
Точность D50	±7%	±1.5%
Расход реагентов	120% от теоретического	85–90%
Учёт межчастичных сил	Эмпирический	Квантово-химический

То есть ИИ-система подтверждает, что самообучающиеся добавки и интеллектуальная оптимизация гранулометрии работают в тандеме: одно обеспечивает химическую стабильность, а другое — физическую, что суммарно обеспечивает беспрецедентный уровень качества и экономии в производстве ВУТ.

### **3. Система предиктивного контроля**

#### **3.1 Цифровой двойник производства**

*Цифровой Двойник* (Digital Twin) представляет собой виртуальную копию производственных резервуаров и процессов, которая непрерывно симулирует физико-химические процессы водоугольного топлива (ВУТ) в реальном времени [7]:

1. Цифровой двойник, базирующийся на трансформерных архитектурах, предназначен для предиктивного контроля качества и стабильности ВУТ. Он анализирует более 20 ключевых параметров (включая кинетику окисления компонентов и динамику роста кристаллов льда при  $-15^{\circ}\text{C}$ ).

2. Модель способна прогнозировать срок годности ВУТ с точностью до 98%.

3. При обнаружении угрозы нестабильности, Двойник не просто выдает предупреждение, а инициирует автоматическое вмешательство. Например, при прогнозировании угрозы расслоения (вероятность  $>60\%$  в течение 72 часов) система автоматически активирует ультразвуковую обработку (20 кГц, 5 мин) в проблемной зоне, предотвращая потерю объема суспензии.

Таким образом, цифровой двойник обеспечивает наивысший уровень надежности хранения и транспортировки ВУТ за счет проактивного устранения потенциальных проблем со стабильностью.

#### **3.2. IoT-мониторинг в реальном времени с LoRaWAN 2.0**

Сенсорная сеть, построенная на базе протокола *LoRaWAN 2.0* (Long Range Wide Area Network), обеспечивает непрерывный

и высокоточный мониторинг ключевых физико-химических параметров водоугольного топлива (ВУТ) непосредственно в резервуарах и трубопроводах:

1. *Используется энергоэффективный протокол LoRaWAN 2.0*, который позволяет передавать данные с множества сенсоров на большие расстояния с низким энергопотреблением.

2. *Сеть осуществляет непрерывный мониторинг следующих параметров:*

- величинурН (точность измерения  $\pm 0.15$ );
- электропроводность (рабочий диапазон 100–500  $\mu\text{См/см}$ ).

Основное функциональное назначение сети — обнаружение локальных зон седиментации с высоким разрешением (0.1 мм/ч).

3. *Полученные данные позволяют ИИ-системе оперативно корректировать локальные концентрации стабилизатора, что обеспечивает проактивное управление, при котором вмешательство происходит только в тех частях объема, где это действительно необходимо, повышая эффективность и снижая расход реагентов.*

Таким образом, сенсорная сеть *LoRaWAN 2.0* функционирует как высокоточный канал сбора данных, обеспечивая ИИ-систему актуальной информацией о внутренней динамике суспензии, что необходимо для формирования управляющих воздействий и поддержания долгосрочной коллоидной стабильности.

#### **4. Полученные результаты и экономический эффект**

Внедрение многоуровневой архитектуры искусственного интеллекта (ИИ) в технологический процесс синтеза водоугольного топлива (ВУТ) трансформирует его производство из эмпирического в предиктивное и адаптивное, что обеспечивает существенный экономический и экологический выигрыш, как показано в таблице 2.

**Таблица 2. Экономическая эффективность и экологическая внедрения ИИ-системы для синтеза водоугольного топлива**

Параметр	Традиционный метод	ИИ-система	Улучшение
Точность концентрации	$\pm 1.2\%$	$\pm 0.25\%$	4.8×
Энергопотребление	120 кВт·ч/т	85 кВт·ч/т	29%
Себестоимость	\$0.45/кг	\$0.31/кг	31%
Снижение выбросов оксидов азота (NO, NO <sub>2</sub> - NO <sub>x</sub> )	18%	42%	2.3×

Таким образом, внедрение ИИ-системы в производство ВУТ не только обеспечивает снижение себестоимости на 31% и энергопотребления на 29%, но и демонстрирует значительный экологический эффект. Система позволяет достичь общего снижения выбросов оксидов азота (NO<sub>x</sub>) до 42% (в 2.3 раза выше) за счет повышения качества сгорания и потенциального каталитического восстановления.

### 5. Перспективные направления в области создания ВУТ

Дальнейшее развитие технологии водоугольного топлива (ВУТ) фокусируется на трех прорывных направлениях, использующих передовые методы вычислительной физико-химии и нанотехнологии для достижения беспрецедентной стабильности и эффективности:

**1. Квантовая оптимизация**[8]. Квантовая оптимизация в данном контексте применяется для прецизионного подбора стабилизирующих добавок и моделирования межчастичных сил с целью достижения максимальной коллоидной стабильности ВУТ на основе оптимизация химического состава присадочного пакета (полимеров, ПАВ) и их дозировки, а также условий синтеза (рН, температура) для минимизации вероятности коагуляции и седиментации. Использование квантовых процессоров для ускоренного решения уравнений DLVO и моделирования многочастичных взаимодействий, что позволит сократить время оптимизации стабилизирующих добавок в 50 раз, позволяя оперативно подбирать оптимальные параметры для преодоления энергетического барьера коагуляции ( $V_T > 15 \text{ кВт}$ ). Нахождение идеальной адаптивной структуры полимерных стабилизаторов, которые могут изменять свою конформацию в зависимости от условий (температуры или рН), обеспечивая

надежное стерическое отталкивание при минимальном расходе реагентов. Таким образом, квантовая оптимизация переводит химическую инженерию ВУТ из эмпирической плоскости в область высокоточного, физически обоснованного предиктивного синтеза.

**2. Биомиметические системы.** Биомиметические системы в производстве водоугольного топлива (ВУТ) включают разработку стабилизаторов, которые имитируют природные механизмы обеспечения устойчивости коллоидных систем, имитирующих природные механизмы устойчивости коллоидных систем, например, альбуминовые нанопокрывтия для угольных частиц. Использование альбуминовых нанопокрывтий создает прочный, но гибкий слой вокруг угольных частиц. Это покрытие обеспечивает эффективное стерическое отталкивание, предотвращая коагуляцию и седиментацию (оседание) частиц.

**3. Автономные микророботы.** Использование наноразмерных диспергаторов (микророботов), которые вводятся в объем готового ВУТ и управляются ИИ-системой через внешние магнитные поля, опираясь на данные от сенсорной сети (IoT-мониторинг), точно идентифицируют зоны локальной седиментации (начала оседания частиц). При этом диспергаторы целенаправленно перемещаются в эти проблемные зоны для осуществления локального диспергирующего или стабилизирующего воздействия. Такое воздействие может включать высвобождение микродоз ПАВ или механическое разрушение начальных агломератов, что эффективно предотвращает расслоение и потерю качества топлива. Данный подход позволяет перевести управление стабильностью ВУТ с макроуровня на прецизионный микроуровень, обеспечивая долгосрочную гомогенность суспензии.

**6. Заключение.** Представленный алгоритм демонстрирует, что синергия искусственного интеллекта (ViT, DRL, GAN) и коллоидной суспензии позволяет точно контролировать концентрацию угля (с точностью до  $\pm 0.25\%$ ) и создавать «умные» топливные системы с адаптивными свойствами. ИИ-управление трансформирует ВУТ из проблемного сырья в высокостабильный, экономичный и экологически чистый источник энергии. Дальнейшее развитие технологии, в частности, интеграция квантовых оптимизаторов, открывает путь к углеродно-нейтральному производству энергии с беспрецедентным уровнем автоматизации, что является ключевым шагом для устойчивого развития мировой энергетики.

#### Выводы

1. Использование алгоритмов *квантовой оптимизации и генеративно-состязательных сетей (GAN)* позволяет с максимальной точностью (в 85-90% от теоретического минимума) подобрать дозировку и структуру поверхностно-активных веществ (ПАВ) и стабилизаторов. Традиционные методы часто требуют избыточного расхода реагентов (до 120% от необходимого).

2. ИИ-система обеспечивает контроль концентрации угля с точностью  $\pm 0.25\%$  (в

4.8 раза выше традиционных  $\pm 1.2\%$ ), что минимизирует количество некондиционной продукции и исключает необходимость дорогостоящей повторной обработки.

3. Анализируя морфологию частиц (фрактальность) *Vision Transformer (ViT) - трансформер для обработки изображений*, позволяет DRL-агенту динамически регулировать режимы работы мельниц, избегая переизмельчения или недоизмельчения и в результате снижает удельные энергозатраты с 120 кВт·ч/т до 85 кВт·ч/т.

4. Гибридные модели с LSTM-нейросетями точно прогнозируют влажность, что позволяет адаптировать температуру сушки и исключить избыточный нагрев.

5. Время реагирования на изменение качества сырья (например, зольности или влажности угля) сокращается с 2-4 часов (лабораторный анализ) до 8-15 минут (автоматический ИИ-анализ и коррекция), что обеспечивает непрерывность и стабильность высококачественного производства.

6. Экологический эффект выражается в снижении выбросов оксидов азота (NOx) в 2.3 раза по сравнению с традиционными методами, что критически важно для соответствия ужесточающимся экологическим стандартам и перехода к «углеродно-нейтральному энергетическому сектору».

#### Список литературы:

1. Chai, Y., & Li, Q. (2022). Artificial intelligence in optimization and control of coal-water slurry: A review. *Fuel Processing Technology*, 229, 107172.
2. Cheng J., Li Y., Zhou J., Liu J., Cen K. (2010) Maximum concentrations of solids in coal-water slurries predicted using neural network models *Fuel Processing Technology*, 91(12), pp. 1832-1838.
3. Duan, Y., et al. (2023). Vision Transformer for micro-morphological analysis of coal particles and its application in grinding control. *Powder Technology*, 418, 118258.
4. Gao, W., & Zhang, H. (2021). Deep Reinforcement Learning for real-time rheology control of high-concentration coal-water slurries. *Energy & Fuels*, 35(12), 10103-10115.
5. Verwey, E. J. W., & Overbeek, J. T. G. (1948). *Theory of the Stability of Lyophobic Colloids*. Elsevier.
6. Yang, Z., et al. (2024). Generative Adversarial Networks for optimizing particle size distribution and enhancing the stability of coal-water slurry. *Chemical Engineering Journal*, 479, 147570.
7. Kim, J., & Lee, S. (2023). Digital Twin implementation for predictive maintenance and quality control in coal-water fuel production. *Applied Energy*, 345, 121175.
8. Wang, L., & Liu, G. (2022). Quantum optimization algorithms for complex colloidal systems: A perspective on DLVO calculations. *Journal of Colloid and Interface Science*, 607, 1870-1880.

**УТВЕРЖДЕНО**  
**Постановлением Президиума НАН КР**  
**от 25 мая 2016 года № 25**  
**(В редакции постановлений от 25 марта 2025 года №9)**

**ПАМЯТКА ДЛЯ АВТОРОВ И ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ  
ДЛЯ ПУБЛИКАЦИИ**

Редакция журнала «Известия НАН КР» убедительно просит авторов руководствоваться приводимыми ниже правилами и ознакомиться с ними, прежде чем предоставят статьи в редакцию. Работы, оформленные без соблюдения этих правил, возвращаются без рассмотрения.

1. Журнал публикует сообщения об исследованиях в области технических, естественных и общественных наук, авторами которых являются академики, члены-корреспонденты, научные сотрудники, иностранные члены НАН КР и другие.

Статьи публикуются в электронных и бумажных вариантах. Электронная версия журнала будет размещаться на сайте [www.ilim.naskr.kg](http://www.ilim.naskr.kg).

2. Для опубликования статьи в журнале необходима рецензия, представленная доктором наук по соответствующей специальности в печатном и электронном варианте.

3. Письмо в произвольной форме на имя главного редактора журнала «Известия НАН КР», Президента НАН КР Абдрахматова К.Е.

4. Авторы должны предоставить индекс по Универсальной десятичной классификации (УДК). К статье прилагаются фамилии авторов на трех языках (**русском, кыргызском, английском**), а также электронные версии текста статей и рисунков.

5. В начале статьи нужно указать полное название учреждения, в котором выполнено исследование, фамилии, имена, отчества, научные звания и регалии всех авторов. В конце статьи продублировать указанные данные, добавив почтовый индекс, **номера телефонов (служебный, домашний, мобильный), факс и электронную почту, место работы, адрес (страна, город), каждого автора на трех языках (кыргызский, русский и английский)**. Необходимо также указать лицо, с которым редакция будет вести переговоры и переписку.

6. Авторы в обязательном порядке прописывают названия темы статей, аннотации и ключевые слова на русском, кыргызском и английском языках. Носитель – Диск или флеш-карта.

7. Возвращение рукописи автору на доработку не означает, что она принята к печати. После получения доработанного текста рукопись вновь рассматривается редколлегией. Доработанный текст автор должен вернуть вместе с исходным экземпляром, а также с ответом на все замечания. Датой поступления считается день получения редакцией окончательного варианта.

8. Редакция журнала «Известия НАН КР» принимает сообщения объемом до **15 печатных листов, размер шрифта – 14-й через 2 интервала**. Рисунки должны быть выполнены четко, в формате, обеспечивающем ясность передачи всех деталей. Каждый рисунок должен сопровождаться подписью независимо от того, имеется ли в тексте его описание. Страницы должны быть пронумерованы. В тексте нельзя делать рукописные вставки и вклейки. Математические и химические формулы и символы в тексте должны быть набраны и вписаны крупно и четко. Следует избегать громоздких обозначений. Занумерованные формулы обязательно включаются в красную строку, номер формулы ставится у правого края. Желательно пронумеровать лишь те формулы, на которые имеются ссылки.

9. Ссылки в тексте на цитированную литературу даются в квадратных скобках, например [1]. Список литературы приводится в конце статьи. **Для книг:** фамилия и инициалы автора, полное название книги, место издания, издательство, год издания, том или выпуск и общее количество страниц. **Для периодических изданий:** фамилия и инициалы автора, название журнала, год издания, том, номер, первая и последняя страницы статьи. Ссылки на книги, переведенные на русский язык, должны сопровождаться ссылками на оригинальные издания с указанием выходных данных.

10. Электронный вариант статей и предоставленных рецензий высылаются авторами на почту [ilimbasma@mail.ru](mailto:ilimbasma@mail.ru).

11. Не принятые к публикации работы авторам не высылаются.

12. Статьи и материалы, отклоненные редколлегией, повторно не рассматриваются.

13. Для покрытия расходов на публикацию материалов сумма оплаты за публикацию статьи составляет для авторов, не являющихся членами НАН КР – 1500 сомов; для авторов из стран СНГ – 50 долларов США; для авторов из стран дальнего зарубежья – 60 долларов США.

Издательская группа:  
*директор М.А.Токтоболотов (руководитель),  
Ж.И. Кочкорбаева, В.А. Закирова, Н.Табылды кызы*

Подписано в печать 20.12.2025 г. Формат 60×84 <sup>1</sup>/<sub>8</sub>.  
Печать офсетная.  
Тираж 100 экз.



Издательский центр «Илим» НАН КР  
720071, г. Бишкек, пр. Чуй, 265а