

# INNOVATION SCIENCE AND TECHNOLOGY

**ISSUE 10, PART I / OCTOBER 2026**

 **Acceptance of papers**



**Acceptance of  
papers**

Published monthly



**Topics**

economics,  
technology, social  
sciences



**EDITOR-IN-CHIEF:**

Mirzaliyev Sanjar Makhamatjon ugli

**DEPUTY EDITOR-IN-CHIEF:**

Makhmudov Nosir Makhmudovich  
DSc., Prof., Academician

**DEPUTY EDITOR-IN-CHIEF:**

Ochilov Bobur Bakhtiyor ugli – Senior  
lecturer at TSUI

THE SCIENTIFIC-POPULAR ELECTRONIC  
JOURNAL **"INNOVATION SCIENCE AND  
TECHNOLOGY"** HAS BEEN REGISTERED  
UNDER THE NUMBER **C-5669633** BY THE  
AGENCY FOR INFORMATION AND MASS  
COMMUNICATIONS (AOKA) OF THE  
REPUBLIC OF UZBEKISTAN, EFFECTIVE  
FROM OCTOBER 9, 2024.

**CONTACTS**

Phone: **+998 50 737 87 88**

Website: <https://ist-journal.uz>

Email: [innovationist2025@gmail.com](mailto:innovationist2025@gmail.com)

The scientific electronic journal "Innovation Science and Technology" has been included in the list of scientific publications recommended for the publication of main scientific results of dissertations for the award of PhD and DSc degrees in economics and technical sciences, in accordance with the Resolution No. 370 of the Presidium of the Higher Attestation Commission of the Republic of Uzbekistan, dated May 8, 2025.

**Editorial board:**



**Sharipov Kongiratbay Avezimbetovich,**  
Doctor of Technical Sciences (DSc), Professor



**Abdurakhmanova Gulnora Kalandarovna,** Doctor of  
Economic Sciences (DSc), Professor



**Cham Tat Huei,**  
Doctor of Philosophy (PhD), Professor (Malaysia)



**Muhammad Imran Sadiq**  
Doctor of Philosophy in Economics (PhD), Professor,  
Malaysia



**Ahmed Aziz Ismail**  
Doctor of Technical Sciences (DSc),  
Professor (Egypt)



**Lee Chin**  
Doctor of Philosophy in Economics (PhD), (Malaysia)



**Asongu Simplicie**  
Doctor of Philosophy in Economics (PhD), Cameroon



**Rui Dang**  
Doctor of Chemistry (DSc), Professor, China



**Zahoor Ahmed**  
Doctor of Philosophy in Economics (PhD), Turkey



**Shujaat Abbas**  
Doctor of Philosophy in Economics (PhD), Russia



**Tina A Coffelt**  
Doctor of Philosophy in Educational Sciences (PhD),  
USA



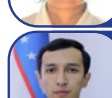
**Abdikarimova Dinara Rustamxanovna**  
Doctor of Economic Sciences (DSc), Professor

**Kurbonbekova Mohichehra Turobjonovna**  
Doctor of Economic Sciences (DSc), Professor

**Alimardonov Ilkhom Muzrabshokovich**  
Doctor of Economic Sciences (DSc), Professor



**Razakova Barno Sayfiyevna**  
Doctor of Philosophy in Economics (PhD)



**Khasanov Sarvar Ulugbek ugli**  
Doctor of Philosophy in Economics (PhD)



**Kholikova Rukhsora Sanjarovna**  
Associate Professor (PhD)



**Xoliyorova Shoxista Qahramon qizi**  
PhD in Economics, Assistant Lecturer at the Department TSUE

**Nasiba G'anjion qizi Sattorova**  
PhD, Senior Lecturer at the Department of Banking

# CONTENTS

|                                                                                                                                                           |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| IMPLEMENTATION OF THE IMPROVED METHODOLOGY IN PRACTICE AND ASSESSMENT OF ITS ECONOMIC EFFICIENCY .....                                                    | 8   |
| Eshniyazova Yulduz Yuldashbayevna                                                                                                                         |     |
| EXPERIMENTAL OPTIMIZATION OF DESIGN AND ENERGY PARAMETERS OF A GARLAND-TURBINE MOBILE MICRO HYDROPOWER PLANT FOR FREE-FLOWING WATER .....                 | 13  |
| Sultonov Sanjarbe, Zokirov Islomjon, Nurillaev Ahadullo, Abdullaev Shavkat                                                                                |     |
| METHODOLOGY FOR INCREASING THE EFFICIENCY OF CREDIT OPERATIONS IN COMMERCIAL BANKS .....                                                                  | 19  |
| Djumaniyazov Ikram Karimbaevich                                                                                                                           |     |
| COMPARATIVE ANALYSIS OF A COMPACT RESIDUAL CONVOLUTIONAL MODEL AND LINEAR REGRESSION FOR IMAGE SUPER-RESOLUTION .....                                     | 27  |
| Husan Arziqulov Normurod o'g'li                                                                                                                           |     |
| COMPARATIVE EVALUATION OF MACHINE LEARNING ALGORITHMS AND CLASS IMBALANCE HANDLING STRATEGIES FOR CREDIT CARD FRAUD DETECTION .....                       | 33  |
| Mahmudova Dilnoza Avaz qizi                                                                                                                               |     |
| DIGITAL TRANSFORMATION OF FINANCIAL RESOURCE MANAGEMENT IN PUBLIC SOCIAL SECTOR INSTITUTIONS .....                                                        | 39  |
| Khasanov Tulkin Axmatovich                                                                                                                                |     |
| WAYS TO ENSURE THE STABILITY OF THE CAPITAL BASE OF COMMERCIAL BANKS .....                                                                                | 45  |
| Isakov Isobek Janabay's son                                                                                                                               |     |
| CROSS-DAY EXPERIMENTAL EVIDENCE OF THERMAL-LOAD SHIFTING IN A SOLAR-DRIVEN HYDRONIC RADIANT FLOOR WITH MACROENCAPSULATED RT52 PHASE CHANGE MATERIAL ..... | 50  |
| Jurabek Kamolov, Sokhib Temirov, Marjona Makhmudova                                                                                                       |     |
| STUDY OF THE TRACTION DYNAMICS OF AN AGGREGATE CONSISTING OF A FRUIT-HARVESTING MACHINE AND ITS TWO-AXLE CONTAINER-CARRYING TRAILER PLATFORM .....        | 59  |
| Norchayev Davron, Sardor Nigmatjonov, Norchayev Jaloliddin, Norchayev Rustam                                                                              |     |
| PRIORITY DIRECTIONS FOR STRENGTHENING THE FINANCIAL STABILITY OF AGRICULTURAL ENTERPRISES .....                                                           | 67  |
| Kulmatov Zafar Jumanazarovich                                                                                                                             |     |
| METHODOLOGICAL APPROACHES TO DEVELOPING UNIVERSITY STUDENTS' DIGITAL COMMUNICATIVE COMPETENCE BASED ON EMOTIONAL INTELLIGENCE .....                       | 73  |
| Malikakhon Kamiljanova                                                                                                                                    |     |
| SIMULTANEOUS REMOVAL CHARACTERISTICS OF OIL AND HEAVY METAL IONS BY BIOFLOCCULANTS BASED ON THE CELLULOSE-DMAEMA/PEPA COMPOSITE .....                     | 80  |
| Xayitboeva Dilshoda, Ibragimov Nasrilla, Jumaev Anvarbek                                                                                                  |     |
| ECONOMIC ANALYSIS AND DEVELOPMENT STRATEGY OF THE WOOD-POLYMER COMPOSITES MARKET .....                                                                    | 84  |
| Abdumalikova Zarnigor, Ayubova Indira, Jumaev Anvarbek                                                                                                    |     |
| ENERGY UTILIZATION ANALYSIS OF AGRICULTURAL DRYING BASED ON INTEGRATED SOLAR THERMAL AND PHOTOVOLTAIC ENERGY SUPPLY .....                                 | 89  |
| Ibragimov Umidjon, Mirzayarova Sevara, Khujayorova Aziza                                                                                                  |     |
| RECENT ADVANCES IN THE SYNTHESIS OF NANOSTRUCTURED MATERIALS FOR ZINC-ION BATTERIES .....                                                                 | 96  |
| Diyorbek Absattorov, Dilnoza Erimbatova, Murodjon Samadiy                                                                                                 |     |
| ENTHALPY-MODEL SELECTION AND PRACTICAL IDENTIFIABILITY OF A MACROENCAPSULATED RT52 RADIANT FLOOR UNDER UNCERTAIN BRANCH FLOW .....                        | 101 |
| Jurabek Kamolov, Sokhib Temirov, Marjona Makhmudova                                                                                                       |     |
| THE IMPORTANCE OF THERMAL ENERGY STORAGE SYSTEMS IN ENHANCING THE EFFICIENCY OF SOLAR DRYERS .....                                                        | 110 |
| B. A. Hikmatov, M. S. Mirzaev,                                                                                                                            |     |

|                                                                                                                                                                |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| METHODOLOGY AND PRINCIPLES FOR THE APPLICATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN ADAPTIVE ECONOMIC MODELS OF HIGHER EDUCATION.....                                 | 117 |
| <b>O'lmasxo'jayev Zoirxo'ja Abbos o'g'li</b>                                                                                                                   |     |
| FORECASTING ECONOMIC EFFECTS OF GREEN INNOVATION IN MINING THROUGH COST REDUCTION, ENERGY SAVINGS AND LONG-TERM COMPETITIVENESS.....                           | 122 |
| <b>Kurbanova Mehriniso Nematjanovna</b>                                                                                                                        |     |
| AN INTELLECTUAL HYBRID MODEL AND FEATURE SPACE FOR NAMED ENTITY RECOGNITION IN KARAKALPAK TEXTS .....                                                          | 127 |
| <b>Kalmuratov Bekbosin Kushkinbaevich, Uzakbaev Jangeldi Sabit-uli, Rzambetova Suliwxan Baxtiyarovna</b>                                                       |     |
| COMPARATIVE ANALYSIS OF EXISTING METHODOLOGIES FOR ASSESSING THE EFFICIENCY OF LENDING PRACTICE .....                                                          | 133 |
| <b>Turdiyev Eralijon Muxtarovich</b>                                                                                                                           |     |
| STRATEGIC MANAGEMENT OF SERVICE QUALITY: ADAPTING THE GAP MODEL TO SERVICE ENTERPRISES.....                                                                    | 140 |
| <b>Tuxliyev Baxtiyor Maxmaziyayevich</b>                                                                                                                       |     |
| ORGANISATIONAL AND LEGAL FOUNDATIONS FOR THE DEVELOPMENT OF ISLAMIC FINANCE IN UZBEKISTAN .....                                                                | 145 |
| <b>Khodjaev Aziz Shovkatovich</b>                                                                                                                              |     |
| REGIONAL TRANSMISSION OF MACROECONOMIC SHOCKS AND THE DYNAMICS OF ECONOMIC CONVERGENCE .....                                                                   | 153 |
| <b>Elyor Nazarov</b>                                                                                                                                           |     |
| PRIORITY DIRECTIONS FOR INCREASING SECTORAL DIVERSIFICATION IN THE ECONOMY OF UZBEKISTAN'S REGIONS .....                                                       | 159 |
| <b>Mamarasulov Nozimjon Mamajonovich</b>                                                                                                                       |     |
| THE ROLE OF STATE STRATEGIC RESERVES IN ENSURING FOOD SECURITY: POLICY EVOLUTION AND REASSESSMENT OF THE MILITARY SUPPLY SYSTEM IN THE CASE OF UZBEKISTAN..... | 165 |
| <b>Bazarov Nazirjon Sobirovich</b>                                                                                                                             |     |
| LOCAL ADAPTATION OF MRA-FW FOR CARDIOVASCULAR RISK ASSESSMENT IN ARAL SEA REGION INPATIENTS.....                                                               | 170 |
| <b>Uteuliev Niyetbay, Saytov Aralbek, Saytov Kamiljan</b>                                                                                                      |     |
| GREEN FINANCE IN UZBEKISTAN: FROM SOVEREIGN BONDS TO FOREIGN DIRECT INVESTMENT IN RENEWABLE ENERGY (2021–2026).....                                            | 176 |
| <b>Temirova Nozima Shuhrat qizi</b>                                                                                                                            |     |
| IMPROVING THE ACCOUNTING OF REVENUE, EXPENSES AND FINANCIAL RESULTS IN PRIVATE HIGHER EDUCATION INSTITUTIONS .....                                             | 182 |
| <b>Saidova Kamolat Farhodovna</b>                                                                                                                              |     |
| THE IMPACT OF DIGITAL TRANSFORMATION ON SERVICE DELIVERY EFFICIENCY IN LOCAL HIGHER EDUCATION INSTITUTIONS.....                                                | 187 |
| <b>Masaidova Marguba Muratovna</b>                                                                                                                             |     |
| INVESTIGATION OF METAL REFINING DURING ELECTRIC ARC WELDING.....                                                                                               | 195 |
| <b>Ermatov Ziyadulla, Rakhmatullaeva Nozima, Galperin Leonid</b>                                                                                               |     |
| STATE AND INSTITUTIONAL SUPPORT FOR THE EXPORT ACTIVITIES OF CONSTRUCTION ENTERPRISES.....                                                                     | 200 |
| <b>Mirzayeva Khulkar Abduladjon kizi</b>                                                                                                                       |     |
| ECONOMIC DIPLOMACY AS THE EXTERNAL TIER OF INVESTMENT GOVERNANCE: INSTITUTIONAL DESIGN AND IMPLEMENTATION GAPS IN UZBEKISTAN.....                              | 207 |
| <b>Imamov Javokhir</b>                                                                                                                                         |     |
| METHODS FOR IMPROVING THE EFFICIENCY OF PRODUCTION RESOURCE UTILIZATION IN AGRICULTURE .....                                                                   | 213 |
| <b>Nurxonov Nurkomil Qahramon ugli</b>                                                                                                                         |     |
| COMPARATIVE ANALYSIS OF MACHINE LEARNING ALGORITHMS FOR AUTOMATIC TOPIC CLASSIFICATION OF KARAKALPAK NEWS TEXTS.....                                           | 218 |
| <b>Asenbayev Nurbek Adilbayevich</b>                                                                                                                           |     |

|                                                                                                                                                                |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| JOINT OPTIMISATION OF EXTERNAL-WALL INSULATION THICKNESS AND RADIANT-FLOOR HEAT OUTPUT FOR A SOLAR-CONCENTRATOR-HEATED DWELLING IN THE CLIMATE OF BUKHARA..... | 223 |
| <b>Jurabek Kamolov, Sokhib Temirov, Marjona Makhmudova</b>                                                                                                     |     |
| IMPROVING THE METHODOLOGY FOR ECONOMIC ANALYSIS OF CONSTRUCTION SERVICE COSTS AT SOCIAL FACILITIES .....                                                       | 234 |
| <b>Gaparov Azim Kayumovich</b>                                                                                                                                 |     |
| SPATIOTEMPORAL TRENDS IN WATER QUALITY ALONG THE TASHKENT URBAN REACH OF THE CHIRCHIK RIVER: A PAIRED MONITORING ANALYSIS FOR 2017–2024 .....                  | 241 |
| <b>Ruziev Dilmurod, Matkaziye Dilshod, Begzod Burkhonov, Abdurakhimova Durdona, Yuldosheva Saodat</b>                                                          |     |
| ECONOMIC REGULATION OF ENVIRONMENTAL EXTERNALITIES IN CONSTRUCTION INDUSTRY ENTERPRISES: A GRADUATED PAYMENT-SUBSIDY MECHANISM AND FORECASTING APPROACH ....   | 251 |
| <b>Xolov Xamza Tojiddinovich</b>                                                                                                                               |     |
| DIFFERENTIATED APPROACHES TO INCENTIVIZING THE TRANSITION OF SMALL BUSINESSES TO THE FORMAL ECONOMY .....                                                      | 260 |
| <b>Yunusov Marat Erkinovich</b>                                                                                                                                |     |
| THE EFFECTIVENESS OF CORPORATE GOVERNANCE IN BANKS AND ITS IMPACT ON FINANCIAL PERFORMANCE AND RISKS .....                                                     | 266 |
| <b>Susanna S. Alieva</b>                                                                                                                                       |     |
| GREEN INNOVATION-INVESTMENT EFFECTIVENESS AND STRATEGIC FORECASTING IN THE CABLE INDUSTRY: EVIDENCE FROM UZKABEL.....                                          | 273 |
| <b>Igamberdiev Karimberdi</b>                                                                                                                                  |     |
| LEVEL OF ADAPTATION OF PUBLIC INFRASTRUCTURE FOR PERSONS WITH DISABILITIES IN BUKHARA.....                                                                     | 280 |
| <b>Bomurodova Madina Voxidjon qizi</b>                                                                                                                         |     |
| СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ ХВОСТОВ ГИДРОМЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ЗАВОДОВ НА ОСНОВЕ КОМБИНИРОВАННЫХ МЕТОДОВ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ЗОЛОТА.....                        | 285 |
| <b>Эргашев Улугбек, Шарафутдинов Улугбек, Хожиева Зулфизар</b>                                                                                                 |     |

# СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ ХВОСТОВ ГИДРОМЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ЗАВОДОВ НА ОСНОВЕ КОМБИНИРОВАННЫХ МЕТОДОВ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ЗОЛОТА

**Эргашев Улугбек Абдурасулович**

опытный специалист АО «Навоийский горно-металлургический комбинат» (НГМК), учёный, доктор технических наук.  
ORCID: 0000-0002-2043-0046

**Шарафутдинов Улугбек Зиятович**

доктор технических наук,  
профессор АО «Навоийский горно-металлургический комбинат» (НГМК). ORCID: 0000-0003-1346-9635

**Хожиева Зулфизар Музаффар кизи**

магистрант Навоийского государственного университета  
горного дела и технологий  
ORCID: 0009-0001-5523-9152  
E-mail: [n.scienceofworld@gmail.com](mailto:n.scienceofworld@gmail.com)

**Аннотация.** Обоснована возможность использования хвостов гидрометаллургических заводов в качестве техногенного источника извлечения золота. Проанализированы основные причины потерь золота в процессе цианирования, а также особенности его нахождения в лежалых хвостах. Предложена комбинированная технология переработки техногенного сырья, предусматривающая предварительное концентрирование золотосодержащих минералов, вскрытие упорных форм золота и последующее сорбционное выщелачивание. Представлены результаты лабораторных исследований, направленных на оценку технологических возможностей применения предложенной схемы для повышения эффективности извлечения золота.

**Ключевые слова:** хвосты гидрометаллургических заводов, техногенное сырьё, упорное золото, гравитационное обогащение, флотация, биоокисление, сверхтонкое измельчение, сорбционное выщелачивание.

**Annotatsiya.** Gidrometallurgiya zavodlarining chiqindi qoldiqlaridan oltin ajratib olishda texnogen xomashyo manbasi sifatida foydalanish imkoniyatlari ilmiy jihatdan asoslangan. Sianlash jarayonida oltin yo'qotilishining asosiy sabablari, shuningdek, uzoq muddat saqlangan chiqindi qoldiqlarida oltinning uchrash shakllari tahlil qilingan. Oltin saqlovchi minerallarni dastlabki boyitish, ajratib olinishi qiyin bo'lgan oltin shakllarini ochish va keyinchalik sorbsion tanlab eritishni nazarda tutuvchi kombinatsiyalashgan texnologiya taklif etilgan. Oltinni ajratib olish samaradorligini oshirishda taklif etilgan texnologik sxemani qo'llash imkoniyatlarini baholashga qaratilgan laboratoriya tadqiqotlari natijalari bayon etilgan.

**Kalit so'zlar:** gidrometallurgiya zavodlarining chiqindi qoldiqlari, texnogen xomashyo, ajratib olinishi qiyin bo'lgan oltin, gravitatsion boyitish, flotatsiya, biooksidlash, o'ta mayin maydalash, sorbsion tanlab eritish.

**Abstract.** The potential utilization of hydrometallurgical plant tailings as a technogenic source for gold recovery is substantiated. The main causes of gold losses during cyanidation and the occurrence of gold in aged tailings are analyzed. A combined technology for processing technogenic raw materials is proposed, incorporating preliminary concentration of gold-bearing minerals, pretreatment of refractory gold, and subsequent sorption leaching. The results of laboratory investigations aimed at evaluating the technological feasibility of the proposed flowsheet for improving gold recovery efficiency are presented.

**Keywords:** hydrometallurgical plant tailings, technogenic raw materials, refractory gold, gravity concentration, flotation, biooxidation, ultrafine grinding, sorption leaching.

## ВВЕДЕНИЕ

Постепенное сокращение запасов богатых и легкообогатимых руд обуславливает необходимость вовлечения в переработку бедного и техногенного сырья золотодобывающими предприятиями. Хвостохранилища гидрометаллургических заводов могут содержать значительные объёмы техногенного сырья с остаточным содержанием золота порядка десятых долей грамма на тонну. Затраты на добычу, дробление и измельчение данного материала уже понесены, что создаёт благоприятные экономические предпосылки для его повторной переработки.

Одновременно хвостохранилища представляют собой объекты, требующие повышенного экологического контроля, поскольку в них могут содержаться остаточные цианиды, мышьяк и тяжёлые металлы. Кроме того, они занимают значительные площади и могут являться источниками пылеобразования. Поэтому повторная переработка хвостов направлена на решение как производственных, так и экологических задач.

Цель исследования заключается в разработке комбинированной технологии доизвлечения золота из хвостов гидрометаллургических заводов (ГМЗ), обеспечивающей повышение степени извлечения по сравнению с повторным цианированием.

## ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ ПО ТЕМЕ

**Причины потерь золота с хвостами.** Золото, оставшееся в хвостах после цианирования, может находиться в формах, характеризующихся повышенной устойчивостью к применённой технологии извлечения. Анализ научной литературы и производственной практики позволяет выделить следующие основные причины потерь золота:

1. Тонкая вкраплённость золота в сульфидных минералах (пирите, арсенопирите) и кварце, ограничивающая его контакт с выщелачивающим раствором.
2. Пассивация поверхности частиц золота оксидными, сульфидными и вторичными плёнками.
3. Сорбция растворённого золота углистым веществом (эффект preg-robbing).
4. Присутствие цианисидов – минералов меди, железа и сурьмы, способствующих дополнительному расходу цианида и кислорода.

При длительном хранении хвостов происходят частичное окисление сульфидов, образование гидроксидов железа и гипса, а также слеживание материала. В результате может формироваться неравномерное распределение золота по глубине и площади хвостохранилища.

Следовательно, для объективной оценки технологических свойств хвостов целесообразно использовать комплексный подход к опробованию, учитывающий пространственную неоднородность материала. Необходимо проводить систематическое опробование по сети точек и глубине с отдельным изучением окисленных и неокисленных зон.

В мировой практике для переработки упорных руд и техногенного сырья применяется широкий спектр методов, которые можно объединить в три основные группы: методы концентрирования, методы вскрытия и методы выщелачивания.

К методам концентрирования относятся гравитационное обогащение и флотация. Современные центробежные концентраты (Knelson, Falcon) создают центробежное ускорение, многократно превышающее ускорение свободного падения, и позволяют извлекать частицы золота крупностью до десятков микрон. Флотация сульфидов обеспечивает концентрирование золота, связанного с пиритом и арсенопиритом, в продукте с относительно небольшим выходом.

Методы вскрытия направлены на разрушение минералов-носителей золота. Окислительный обжиг является одним из наиболее освоенных технологических методов, однако требует эффективного контроля и очистки газовых выбросов, содержащих диоксид серы и соединения мышьяка. Автоклавное окисление обеспечивает высокую степень вскрытия золота, но характеризуется значительными капитальными затратами. Биологическое окисление с использованием ацидофильных бактерий применяется в промышленном масштабе с 1980-х годов и характеризуется возможностью оптимизации эксплуатационных затрат и экологических параметров процесса. Сверхтонкое измельчение в мешалочных мельницах до крупности 10–20 мкм позволяет механически раскрывать тонковкрапленное золото без применения химического окисления.

Среди методов выщелачивания основным остаётся цианирование, преимущественно в сорбционном варианте (CIL, CIP). Совмещение выщелачивания и сорбции способствует снижению влияния углистого вещества на извлечение золота. В качестве альтернативных технологий рассматриваются тиосульфатное, тиомочевинное и галогенидное выщелачивание. Тиосульфат характеризуется сравнительно меньшей токсичностью и позволяет формировать комплексы золота, менее подверженные сорбции природным

углеродом, что определяет перспективность его применения для переработки углистого сырья.

Анализ научных исследований и производственного опыта свидетельствует о перспективности комплексного сочетания указанных методов в единой технологической схеме, выбираемой с учётом форм нахождения золота и минералогических особенностей конкретного сырья.

## МЕТОДОЛОГИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом исследования являлись лежалые хвосты гидрометаллургического завода. Пробы отбирали по сети 100 × 100 м с интервалом по глубине 2 м. Впоследствии из отобранного материала составляли усреднённую технологическую пробу массой 150 кг.

В ходе исследования были выполнены гранулометрический, химический (пробирный и атомно-абсорбционный) и минералогический анализы, а также рациональный (фазовый) анализ золота. Технологические опыты включали гравитационное обогащение на центробежном концентраторе, флотацию, сверхтонкое измельчение, окисление сульфидного концентрата и сорбционное цианирование.

Гравитационное обогащение проводили на лабораторном центробежном концентраторе при факторе разделения 60 g. Флотацию осуществляли в лабораторной флотационной машине при содержании твёрдой фазы в пульпе 30 % с использованием бутилового ксантогената в количестве 80 г/т и вспенивателя – 40 г/т. Сверхтонкое измельчение концентрата проводили в лабораторной бисерной мельнице до крупности P80 = 15 мкм.

Сорбционное цианирование осуществляли при концентрации NaCN 0,5 г/л, значении pH 10,5–11,0, содержании твёрдой фазы в пульпе 40 % и загрузке активированного угля 15 г/л в течение 24 ч. Содержание золота в исходных продуктах, кеках и на активированном угле определяли пробирным методом, а в растворах – атомно-абсорбционным методом.

## АНАЛИЗ И РЕЗУЛЬТАТЫ

Содержание золота в исходной пробе составило 0,60 г/т. Рациональный анализ показал, что 11,7 % золота находится в цианируемой форме, 55,0 % связано с сульфидами, а 20,0 % заключено в кварце. Наибольшая доля золота сосредоточена в тонких классах крупности (–74 мкм). Результаты рационального анализа представлены в таблице 1.

Таблица 1. Результаты рационального анализа золота в пробе хвостов

| Форма нахождения золота                | Содержание, г/т | Доля, % |
|----------------------------------------|-----------------|---------|
| Свободное, цианируемое                 | 0,07            | 11,7    |
| В сростках, вскрываемое доизмельчением | 0,08            | 13,3    |
| Связанное с сульфидами                 | 0,33            | 55,0    |
| Заключённое в кварце и силикатах       | 0,12            | 20,0    |
| Итого                                  | 0,60            | 100,0   |

Минералогический анализ показал, что основными сульфидными минералами являются пирит и арсенопирит. Содержание сульфидной серы составляет 0,8 %, органического углерода – 0,15 %. Золото в сульфидах представлено преимущественно частицами крупностью менее 10 мкм.

В исследованных условиях повторного цианирования исходных хвостов извлечение золота составило 18 %. Полученные результаты свидетельствуют о том, что для повышения доступности основной части золота при выщелачивании необходимо предварительное вскрытие золотосодержащих минеральных ассоциаций.

На основании полученных данных предложена комбинированная технологическая схема, включающая следующие последовательные операции:

1. Репульпация хвостов и классификация в гидроциклонах.
2. Гравитационное извлечение свободного золота на центробежных концентраторах.
3. Флотация сульфидов с получением концентрата, составляющего 5–15 % массы питания.
4. Сверхтонкое измельчение концентрата до P80 = 10–20 мкм и/или биологическое (химическое) окисление сульфидов.
5. Сорбционное цианирование (CIL) концентрата; для углистого сырья – сорбция на ионообменных смолах или тиосульфатное выщелачивание.
6. Обезвреживание хвостов флотации и выщелачивания перед складированием или использованием в закладке.

В результате гравитационного обогащения извлечено 4 % золота. При флотации в концентрат извлечено 78 % золота при выходе концентрата 8 %; содержание золота в концентрате составило

около 5,9 г/т. После вскрытия концентрата степень извлечения золота при цианировании достигла 82 %. Сквозное извлечение золота из хвостов составило 68 % по сравнению с 18 % при прямом повторном цианировании. Сравнительные показатели вариантов переработки представлены в таблице 2.

Таблица 2. Сравнение вариантов переработки хвостов

| Вариант                                                    | Извлечение золота, % | Расход NaCN, кг/т |
|------------------------------------------------------------|----------------------|-------------------|
| Прямое повторное цианирование                              | 18,0                 | 0,90              |
| Доизмельчение + цианирование                               | 27,0                 | 1,10              |
| Гравитация + флотация + цианирование концентрата           | 35,0                 | 0,35              |
| Гравитация + флотация + СТИ/окисление + CIL (предлагаемый) | 68,0                 | 0,40              |

Сравнительный анализ показывает, что дополнительное измельчение хвостов обеспечивает определённое повышение степени извлечения золота, однако его эффективность зависит от степени раскрытия золота, заключённого в сульфидных минералах. Среди исследованных вариантов наиболее высокий показатель извлечения достигнут при сочетании концентрирования и предварительного вскрытия сульфидного концентрата.

Важным преимуществом предлагаемой схемы является возможность применения капиталоемких операций вскрытия и выщелачивания преимущественно к концентрату. Согласно представленным данным, применение комбинированной схемы позволяет снизить удельный расход цианида приблизительно на 55,6 %. Возможность оптимизации капитальных затрат требует дополнительного технико-экономического обоснования.

**Технико-экономические и экологические аспекты.** Экономическая эффективность переработки хвостов определяется прежде всего возможностью использования ранее добытого, транспортированного и измельчённого сырья, что позволяет сократить затраты на соответствующие технологические операции. Концентрирование золота в 5–15 % массы исходного материала позволяет применять капиталоемкие методы вскрытия на оборудовании сравнительно небольшой производительности, создавая условия для снижения капитальных вложений.

Экологические преимущества предлагаемой схемы связаны с тем, что основная масса конечных отходов представлена хвостами флотации с пониженным содержанием сульфидных минералов. После соответствующего обезвреживания цианидов такие отходы могут характеризоваться меньшей склонностью к образованию кислых дренажных вод. Одним из потенциальных способов связывания мышьяка, переходящего в раствор при окислении, является его осаждение в форме арсената железа (скородита) при соответствующих технологических условиях. При соблюдении установленных экологических и технологических требований конечные хвосты могут рассматриваться в качестве материала для закладки выработанного пространства или использования в производстве строительных материалов, что создаёт предпосылки для сокращения площади хвостохранилищ.

Для окончательной оценки эффективности предлагаемой технологии необходимо проведение укрупнённых испытаний технологической схемы и расчёт экономических показателей, включая чистый дисконтированный доход и срок окупаемости, применительно к производственным условиям АО «НГМК».

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ И РЕКОМЕНДАЦИИ

Хвосты гидрометаллургических заводов являются перспективным техногенным источником золота, однако наличие его упорных форм ограничивает эффективность доизвлечения методом прямого повторного цианирования. Комбинированная технология, включающая концентрирование, вскрытие сульфидных минералов и сорбционное выщелачивание, позволяет повысить сквозное извлечение золота до 68 %. Дальнейшие исследования целесообразно направить на проведение укрупнённых испытаний разработанной технологической схемы и её технико-экономическую оценку применительно к производственным условиям АО «НГМК».

На основании полученных результатов предлагаются следующие практические рекомендации:

1. Провести укрупнённые технологические испытания комбинированной схемы переработки хвостов с целью уточнения оптимальных параметров концентрирования, вскрытия сульфидных минералов и сорбционного выщелачивания золота.

2. Осуществить комплексную технико-экономическую оценку предлагаемой технологии с учётом расхода реагентов, энергопотребления, капитальных и эксплуатационных затрат, а также перспектив её

внедрения на предприятиях АО «НГМК».

3. Разработать систему экологического мониторинга процессов переработки хвостов, предусматривающую контроль содержания остаточных цианидов, соединений мышьяка и других потенциально опасных компонентов в технологических растворах и конечных отходах.

#### **СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Marsden J. O., House C. I. The Chemistry of Gold Extraction. – 2nd ed. – Littleton : Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, 2006.
2. Adams M. D. (ed.). Gold Ore Processing: Project Development and Operations. – 2nd ed. – Amsterdam : Elsevier, 2016.
3. Fleming C. A. Hydrometallurgy of precious metals recovery // Hydrometallurgy. – 1992. – Vol. 30. – P. 127–162.
4. Aylmore M. G., Muir D. M. Thiosulfate leaching of gold – A review // Minerals Engineering. – 2001. – Vol. 14, № 2. – P. 135–174.
5. Kondos P. D., Deschênes G., Morrison R. M. Process optimization studies in gold cyanidation // Hydrometallurgy. – 1995. – Vol. 39. – P. 235–250.
6. Санакулов К. С. Научно-технические основы переработки отходов горно-металлургического производства. – Ташкент : Фан, 2009.

**Proofreader:** Zokir ALIBEKOV

**Layout and Designer:** Oloviddin Sobir ugli

---

## **2026. № 10**

---

© When materials are reproduced, the INNOVATION SCIENCE AND TECHNOLOGY journal must be cited as the source. Authors are responsible for the accuracy of the information in materials and advertisements published in the journal. Editorial opinions may not always align with those of the authors. Submitted materials will not be returned to the editorial office.

To publish articles in this journal, you may submit articles, advertisements, stories, and other creative materials through the following links. Materials and advertisements are published on a paid basis.

You may subscribe to the journal at any time using the following details. Once subscribed, please send a screenshot or photo of your payment confirmation to our Telegram page @iqtisodiyot\_77. Based on this, we will send the latest issue of the journal to your address each month.

“The journal “INNOVATION SCIENCE AND TECHNOLOGY” has been registered by the Agency for Information and Mass Communications under the Administration of the President of the Republic of Uzbekistan from 09.10.2024 under the registration number №390637. License number: C-5669633. PNFL: 30407832680027

**Our address:** Tashkent city, Yunusobod district, 19th block,  
House 17.



### Acceptance of articles

Published every  
monthly



### Directions

Social, economic, political,  
technological, scientific



Scopus || Scientific electronic journal specializing in Scopus

**CERTIFICATE NUMBER: №390637**

**ORDER NUMBER ACCORDING TO  
THE LICENSE REGISTER: C-5669633**

### CONTACT:



Contact us  
**+998 50 737 87 88**



Telegram channel  
**t.me/scopus\_IST2100**



Journal official website  
**<https://ist-journal.uz/index.php/IST>**