

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

2024 • 2



ҚАЙЫРЫМДЫЛЫҚ ҚОРЫ

HALYK

CHARITY FOUNDATION

«ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ
ҰЛТТЫҚ ҒЫЛЫМ АКАДЕМИЯСЫ» РҚБ
«ХАЛЫҚ» ЖҚ

БАЯНДАМАЛАРЫ

ДОКЛАДЫ

РОО «НАЦИОНАЛЬНОЙ
АКАДЕМИИ НАУК РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН»
ЧФ «ХАЛЫҚ»

REPORTS

OF THE ACADEMY OF SCIENCES
OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN
«Halyk» Private Foundation

PUBLISHED SINCE JANUARY 1944

ALMATY, NAS RK



ЧФ «ХАЛЫҚ»

В 2016 году для развития и улучшения качества жизни казахстанцев был создан частный Благотворительный фонд «Халык». За годы своей деятельности на реализацию благотворительных проектов в областях образования и науки, социальной защиты, культуры, здравоохранения и спорта, Фонд выделил более 45 миллиардов тенге.

Особое внимание Благотворительный фонд «Халык» уделяет образовательным программам, считая это направление одним из ключевых в своей деятельности. Оказывая поддержку отечественному образованию, Фонд вносит свой посильный вклад в развитие качественного образования в Казахстане. Тем самым способствуя росту числа людей, способных менять жизнь в стране к лучшему – профессионалов в различных сферах, потенциальных лидеров и «великих умов». Одной из значимых инициатив фонда «Халык» в образовательной сфере стал проект *Ozgeris powered by Halyk Fund* – первый в стране бизнес-инкубатор для учащихся 9-11 классов, который помогает развивать необходимые в современном мире предпринимательские навыки. Так, на содействие малому бизнесу школьников было выделено более 200 грантов. Для поддержки талантливых и мотивированных детей Фонд неоднократно выделял гранты на обучение в Международной школе «Мирас» и в *Astana IT University*, а также помог казахстанским школьникам принять участие в престижном конкурсе «*USTEM Robotics*» в США. Авторские работы в рамках проекта «Тәлімгер», которому Фонд оказал поддержку, легли в основу учебной программы, учебников и учебно-методических книг по предмету «Основы предпринимательства и бизнеса», преподаваемого в 10-11 классах казахстанских школ и колледжей.

Помимо помощи школьникам, учащимся колледжей и студентам Фонд считает важным внести свой вклад в повышение квалификации педагогов, совершенствование их знаний и навыков, поскольку именно они являются проводниками знаний будущих поколений казахстанцев. При поддержке Фонда «Халык» в южной столице был организован ежегодный городской конкурс педагогов «*Almaty Digital Ustaz*».

Важной инициативой стал реализуемый проект по обучению основам финансовой грамотности преподавателей из восьми областей Казахстана, что должно оказать существенное влияние на воспитание финансовой грамотности и предпринимательского мышления у нового поколения граждан страны.

Необходимую помощь Фонд «Халык» оказывает и тем, кто особенно остро в ней нуждается. В рамках социальной защиты населения активно проводится работа по поддержке детей, оставшихся без родителей, детей и взрослых из социально уязвимых слоев населения, людей с ограниченными возможностями, а также обеспечению нуждающихся социальным жильем, строительству социально важных объектов, таких как детские сады, детские площадки и физкультурно-оздоровительные комплексы.

В копилку добрых дел Фонда «Халык» можно добавить оказание помощи детскому спорту, куда относится поддержка в развитии детского футбола и карате в нашей стране. Жизненно важную помощь Благотворительный фонд «Халык» оказал нашим соотечественникам во время недавней пандемии COVID-19. Тогда, в разгар тяжелой борьбы с коронавирусной инфекцией Фонд выделил свыше 11 миллиардов тенге на приобретение необходимого медицинского оборудования и дорогостоящих медицинских препаратов, автомобилей скорой медицинской помощи и средств защиты, адресную материальную помощь социально уязвимым слоям населения и денежные выплаты медицинским работникам.

В 2023 году наряду с другими проектами, нацеленными на повышение благосостояния казахстанских граждан Фонд решил уделить особое внимание науке, поскольку она является частью общественной культуры, а уровень ее развития определяет уровень развития государства.

Поддержка Фондом выпуска журналов Национальной Академии наук Республики Казахстан, которые входят в международные фонды Scopus и Wos и в которых публикуются статьи отечественных ученых, докторантов и магистрантов, а также научных сотрудников высших учебных заведений и научно-исследовательских институтов нашей страны является не менее значимым вкладом Фонда в развитие казахстанского общества.

**С уважением,
Благотворительный Фонд «Халык»!**

БАС РЕДАКТОР:

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

РЕДАКЦИЈАЛЫҚ АЛҚА:

РАМАЗАНОВ Тілекқабил Сәбитұлы, (бас редактордың орынбасары), физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі (Алматы, Қазақстан), Н = 26

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

БАЙМҰҚАНОВ Дастан Асылбекұлы, ауыл шаруашылығы ғылымдарының докторы, ҚР ҰҒА корреспондент мүшесі, "Мал шаруашылығы және ветеринария ғылыми-өндірістік орталығы" ЖШС мал шаруашылығы және ветеринарлық медицина департаментінің бас ғылыми қызметкері (Нұр-Сұлтан, Қазақстан), Н = 1

ТИГИНИАНУ Ион Михайлович, физика-математика ғылымдарының докторы, академик, Молдова Ғылым Академиясының президенті, Молдова техникалық университеті (Кишинев, Молдова), Н = 42

КАЛИМОЛДАЕВ Мақсат Нұрәліұлы, физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі (Алматы, Қазақстан), Н = 7

БОШКАЕВ Қуантай Авғазыұлы, Ph.D. Теориялық және ядролық физика кафедрасының доценті, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы, Қазақстан), Н = 10

QUEVEDO Hernando, профессор, Ядролық ғылымдар институты (Мехико, Мексика), Н = 28

ЖУСНОВ Марат Абжанұлы, физика-математика ғылымдарының докторы, теориялық және ядролық физика кафедрасының профессоры, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы, Қазақстан), Н = 7

КОВАЛЕВ Александр Михайлович, физика-математика ғылымдарының докторы, Украина ҰҒА академигі, Қолданбалы математика және механика институты (Донецк, Украина), Н = 5

ТАКИБАЕВ Нұрғали Жабағаұлы, физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы, Қазақстан), Н = 5

ХАРИН Станислав Николаевич, физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, Қазақстан-Британ техникалық университеті (Алматы, Қазақстан), Н = 10

ДАВЛЕТОВ Асқар Ербуланович, физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы, Қазақстан), Н = 12

«Қазақстан Республикасы Ұлттық ғылым академиясының баяндамалары»

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

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

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

Мерзімділігі: жылына 4 рет. Тиражы: 300 дана.

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

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

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР:

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

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

РАМАЗАНОВ Тлеккабул Сабитович, (заместитель главного редактора), доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК (Алматы, Казахстан), Н = 26

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

БАЙМУКАНОВ Дастанбек Асылбекович, доктор сельскохозяйственных наук, член-корреспондент НАН РК, главный научный сотрудник Департамента животноводства и ветеринарии (Нур-Султан, Казахстан), Н = 1

ТИГИНЯНУ Ион Михайлович, доктор физико-математических наук, академик, президент Академии наук Молдовы, Технический университет Молдовы (Кишинев, Молдова), Н = 42

КАЛИМОЛДАЕВ Максат Нурадилович, доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК (Алматы, Казахстан), Н = 7

БОШКАЕВ Куантай Авгазыевич, доктор Ph.D, преподаватель, доцент кафедры теоретической и ядерной физики, Казахский национальный университет им. аль-Фараби (Алматы, Казахстан), Н = 10

QUEVEDO Hemando, профессор, Национальный автономный университет Мексики (UNAM), Институт ядерных наук (Мехико, Мексика), Н = 28

ЖУСУПОВ Марат Абжанович, доктор физико-математических наук, профессор кафедры теоретической и ядерной физики, Казахский национальный университет им. аль-Фараби (Алматы, Казахстан), Н = 7

КОВАЛЕВ Александр Михайлович, доктор физико-математических наук, академик НАН Украины, Институт прикладной математики и механики (Донецк, Украина), Н = 5

ТАКИБАЕВ Нургали Жаббаевич, доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК, Казахский национальный университет им. аль-Фараби (Алматы, Казахстан), Н = 5

ХАРИН Станислав Николаевич, доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК, Казахстанско-Британский технический университет (Алматы, Казахстан), Н = 10

ДАВЛЕТОВ Аскар Ербуланович, доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК, Казахский национальный университет им. аль-Фараби (Алматы, Казахстан), Н = 12

Доклады Национальной академии наук Республики Казахстан»

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

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

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

Периодичность: 4 раз в год. Тираж: 300 экземпляров

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

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

EDITOR IN CHIEF:

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

EDITORIAL BOARD:

RAMAZANOV Tlekkabul Sabitovich, (Deputy Editor-in-Chief), Doctor in Physics and Mathematics, Professor, Academician of NAS RK (Almaty, Kazakhstan), H = 26

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

BAIMUKANOV Dastanbek Asylbekovich, Doctor of Agricultural Sciences, Corresponding Member of the NAS RK, Chief Researcher of the department of animal husbandry and veterinary medicine, Research and Production Center for Livestock and Veterinary Medicine Limited Liability Company (Nur-Sultan, Kazakhstan), H=1

TIGHINEANU Ion Mikhailovich, Doctor in Physics and Mathematics, Academician, Full Member of the Academy of Sciences of Moldova, President of the AS of Moldova, Technical University of Moldova (Chisinau, Moldova), H = 42

KALIMOLDAYEV Maksat Nuradilovich, doctor in Physics and Mathematics, Professor, Academician of NAS RK (Almaty, Kazakhstan), H = 7

BOSHKAYEV Kuantai Avgazievich, PhD, Lecturer, Associate Professor of the Department of Theoretical and Nuclear Physics, Al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan), H = 10

QUEVEDO Hemando, Professor, National Autonomous University of Mexico (UNAM), Institute of Nuclear Sciences (Mexico City, Mexico), H = 28

ZHUSSUPOV Marat Abzhanovich, Doctor in Physics and Mathematics, Professor of the Department of Theoretical and Nuclear Physics, al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan), H = 7

KOVALEV Alexander Mikhailovich, Doctor in Physics and Mathematics, Academician of NAS of Ukraine, Director of the State Institution «Institute of Applied Mathematics and Mechanics» DPR (Donetsk, Ukraine), H = 5

TAKIBAYEV Nurgali Zhabagaevich, Doctor in Physics and Mathematics, Professor, Academician of NAS RK, al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan), H = 5

KHARIN Stanislav Nikolayevich, Doctor in Physics and Mathematics, Professor, Academician of NAS RK, Kazakh-British Technical University (Almaty, Kazakhstan), H = 10

DAVLETOV Askar Erbulanovich, Doctor in Physics and Mathematics, Professor, Academician of NAS RK, al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan), H = 12

Reports of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan.

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

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

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

Periodicity: 4 times a year. Circulation: 300 copies.

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

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

© **B.K. Kenzhaliyev, A.K. Koizhanova***, **M.B. Yerdenova, D.R. Magomedov,**
K.M. Smailov, 2024

Satbayev University, the JSC “Institute of Metallurgy and Ore Beneficiation”,
Almaty, Kazakhstan.

E-mail: a.koizhanova@satbayev.university

OPTIMIZATION OF COPPER EXTRACTION FROM WASTE ORES USING BIOCHEMICAL AND CHEMICAL OXIDATION METHODS

B.K. Kenzhaliyev — doctor of technical sciences, professor, General Director in the “Institute of Metallurgy and Ore Beneficiation”, Kazakhstan, Almaty, Shevchenko str., 29/133

E-mail: bagdaulet_k@satbayev.university, <https://orcid.org/0000-0003-1474-8354>;

A.K. Koizhanova — candidate of technical sciences, head of the laboratory of special methods of hydrometallurgy. Satbayev University, the JSC “Institute of Metallurgy and Ore Beneficiation”, Kazakhstan, Almaty, Shevchenko str., 29/133

E-mail: a.koizhanova@satbayev.university, <https://orcid.org/0000-0001-9358-3193>;

M.B. Yerdenova — researcher, master. Satbayev University, the JSC “Institute of Metallurgy and Ore Beneficiation”, Kazakhstan, Almaty, Shevchenko str., 29/133

E-mail: m.erdenova@satbayev.university, <https://orcid.org/0000-0002-7496-5097>;

D.R. Magomedov — researcher, master. Satbayev University, the JSC “Institute of Metallurgy and Ore Beneficiation”, Kazakhstan, Almaty, Shevchenko str., 29/133

E-mail: d.magomedov@satbayev.university, <https://orcid.org/0000-0001-7216-2349>;

K.M. Smailov — junior researcher, master. Satbayev University, the JSC “Institute of Metallurgy and Ore Beneficiation”, Kazakhstan, Almaty, Shevchenko str., 29/133

E-mail: k.smailov@satbayev.university, <https://orcid.org/0000-0002-9277-5254>.

Abstract. This article presents the results of research on the processing of waste ores from copper production at one of the deposits in Kazakhstan. The copper content in samples of various lithological types and taken from different sampling points varies from 0.2 % to 0.9 %. On average, the copper content was 0.3 % on the southern side of the dump and 0.28 % on the northern side. Phase analysis of the dump samples revealed that the primary rock-forming minerals are quartz, albite, muscovite, and clinocllore, with significant amounts of malachite and atacamite observed in certain areas. Detailed mineralogical analysis also identified the presence of sulfide minerals such as pyrite, chalcopyrite, and chalcocite. For this type of deposit, the most effective processing method is the use of biohydrometallurgical heap leaching technology. In the experiments on percolation leaching, the following options were considered: the use of trichloroisocyanuric acid (TCCA) as a chemical oxidizer and the adapted culture of *A. ferrooxidans* as a bio-oxidizer. Standard sulfuric acid leaching served as the control variant. The application of TCCA resulted in an increase in copper extraction into the solution only during the first 7 cycles, after which the effectiveness of chemical oxidation decreased. The highest efficiency was observed with preliminary bacterial oxidation: 76.08 % of copper was

extracted into the productive solution over 28 cycles of irrigation. The productive solutions obtained from all variants underwent the complete technological cycle of copper hydrometallurgical production. As a result of the extraction and re-extraction processes, electrolyte solutions were produced that fully met the quality parameters required for electrolysis. During the electrolysis stage, 30.8 g of copper was deposited on the cathode from these electrolyte solutions, corresponding to a current efficiency of 94.6 %.

Keywords: copper-containing raw materials, biochemical method, leaching, *Acidobacillus ferrooxidans*, trichloroisocyanuric acid, extraction

This study was conducted with the financial support of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan within the framework of program-targeted financing (grant BR21882140).

© Б.К. Кенжалиев, А.К. Койжанова*, М.Б. Ерденова, Д.Р. Магомедов,
К.М. Смаилов, 2024

Satbayev University; «Металлургия және кен байыту институты» АҚ, Алматы,
Қазақстан.

E-mail: a.koizhanova@satbayev.university

ҮЙІНДІ КЕНДЕРДЕН МЫС АЛУДЫ БИОХИМИЯЛЫҚ ЖӘНЕ ХИМИЯЛЫҚ ТОТЫҚТЫРУ ӘДІСТЕРІМЕН ОҢТАЙЛАНДЫРУ

Кенжалиев Б.К. — техника ғылымдарының докторы, профессор. Бас директор «Металлургия және кен байыту институты» АҚ, Қазақстан, Алматы, Шевченко к-сі, 29/133

E-mail: bagdaulet_k@satbayev.university, <https://orcid.org/0000-0003-1474-8354>;

Койжанова А.К. — техника ғылымдарының кандидаты, гидрометаллургияның арнайы әдістері зертханасының менгерушісі. Satbayev University, «Металлургия және кен байыту институты» АҚ., Қазақстан, Алматы қ., Шевченко к-сі, 29/133

E-mail: a.koizhanova@satbayev.university, <https://orcid.org/0000-0001-9358-3193>;

Ерденова М.Б. — кіші ғылыми қызметкер, магистр. Satbayev University, «Металлургия және кен байыту институты» АҚ., Қазақстан, Алматы қ., Шевченко к-сі, 29/133

E-mail: m.erdenova@satbayev.university, <https://orcid.org/0000-0002-7496-5097>;

Магомедов Д.Р. — ғылыми қызметкер, магистр. Satbayev University, «Металлургия және кен байыту институты» АҚ., Қазақстан, Алматы қ., Шевченко к-сі, 29/133

E-mail: d.magomedov@satbayev.university, <https://orcid.org/0000-0001-7216-2349>;

Смаилов К.М. — кіші ғылыми қызметкер, магистр. Satbayev University, «Металлургия және кен байыту институты» АҚ., Қазақстан, Алматы қ., Шевченко к-сі, 29/133

E-mail: k.smailov@satbayev.university, <https://orcid.org/0000-0002-9277-5254>.

Аннотация. Мақалада Қазақстанның кен орындарының бірінде мыс өндірісінің үйінді кендерін өңдеу бойынша зерттеулердің нәтижелері келтірілген. Әр түрлі жыныстардың үлгілеріндегі және әртүрлі іріктеу нүктелерінен алынған мыс мөлшері 0,2-ден 0,9 % - ға дейін өзгереді. Үйіндінің оңтүстік жағы бойынша орташа есеппен мыс мөлшері 0,3 %, солтүстік жағынан – 0,28 % құрады. Пышак сынамаларының фазалық талдауы тау жыныстарының негізгі бөлігі кварц, альбит, мусковит, клинохлор болып табылатындығын анықтады, мыс үйінділерінен бірқатар жерлерде малахит пен атакамиттің айтарлықтай мөлшері байқалды. Минералдардың тотыққан түрлерінен басқа, егжей-тегжейлі минералогиялық талдау пирит, халькопирит, халькозин және т.б. сияқты сульфидті минералды түзілімдердің фрагменттерін де тіркеді. кен орындарының бұл түрі үшін өңдеудің ең тиімді әдісі

үйінді шаймалаудың биогидрометаллургиялық технологиясын қолдану болады. Химиялық тотықтырғыш ретінде перколяциялық шаймалау бойынша трихлоризоцианур қышқылын (ТХЦҚ) қолдану нұсқасы қарастырылды, био тотықтырғыш ретінде бейімделген *A. Ferrooxidans* мәдениеті де қолданылды. Химиялық тотықтырғыш ретінде перколяциялық шаймалау бойынша трихлоризоцианур қышқылын (ТХЦҚ) қолдану нұсқасы қарастырылды, био тотықтырғыш ретінде бейімделген *A. Ferrooxidans* мәдениеті де қолданылды. Стандартты күкірт қышқылын шаймалау бақылау нұсқасы ретінде қызмет етті. ТХЦҚ көмегімен тотығудың химиялық әдісін қолдану нәтижесінде басқа нұсқалармен салыстырғанда ерітіндіге мыс алудың өсуі алғашқы 7 циклде ғана байқалды. Ең үлкен тиімділік бактериялардың алдын-ала тотығу нұсқасында байқалды, суарудың 28 циклі үшін 76,08 % мыс өнімді ерітіндіге алынды. Барлық нұсқалардың алынған өнімді ерітінділері мыс гидрометаллургиялық өндірісінің толық технологиялық цикліне ұшырады. Экстракция және қайта экстракция процестерінің нәтижесінде электролизді жүргізу үшін қажетті сапалық параметрлерге толық сәйкес келетін электролит ерітінділері жасалды. Электролиз сатысында жинақталған электролит ерітінділерінен 30,8 г мыс катодқа тұндырылды, бұл ток арқылы 94,6 % - ға тең экстракция береді.

Түйін сөздер: құрамында мыс бар шикізат, биохимиялық әдіс, сілтілеу, *Acidobacillus Ferrooxidans*, трихлоризоцианур қышқылы, экстракция

Бұл зерттеу бағдарламалық-нысаналы қаржыландыру (BR21882140 гранты) шеңберінде Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің қаржылық қолдауымен жүргізілді.

©Б.К. Кенжалиев, А.К. Койжанова*, М.Б. Ерденова, Д.Р. Магомедов, К.М. Смаилов, 2024

АО «Институт металлургии и обогащения», Алматы, Казахстан.

E-mail: a.koizhanova@satbayev.university

ОПТИМИЗАЦИЯ ИЗВЛЕЧЕНИЯ МЕДИ ИЗ ОТВАЛЬНЫХ РУД С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БИОХИМИЧЕСКИХ И ХИМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ОКИСЛЕНИЯ

Кенжалиев Б.К. — доктор технических наук, профессор. Генеральный директор АО «Институт металлургии и обогащения», Казахстан, Алматы, ул. Шевченко, 29/133

E-mail: bagdaulet_k@satbayev.university, <https://orcid.org/0000-0003-1474-8354>;

Койжанова А.К. — кандидат технических наук, заведующая лабораторией специальных методов гидрометаллургии. Satbayev University, АО «Институт металлургии и обогащения», Казахстан, Алматы, ул. Шевченко, 29/133

E-mail: a.koizhanova@satbayev.university, <https://orcid.org/0000-0001-9358-3193>;

Ерденова М.Б. — научный сотрудник, магистр. Satbayev University, АО «Институт металлургии и обогащения», Казахстан, Алматы, ул. Шевченко, 29/133

E-mail: m.erdanova@satbayev.university, <https://orcid.org/0000-0002-7496-5097>;

Магомедов Д.Р. — научный сотрудник, магистр. Satbayev University, АО «Институт металлургии и обогащения», Казахстан, Алматы, ул. Шевченко, 29/133

E-mail: d.magomedov@satbayev.university, <https://orcid.org/0000-0001-7216-2349>;

Смаилов К.М. — младший научный сотрудник, магистр. Satbayev University, АО «Институт металлургии и обогащения», Казахстан, Алматы, ул. Шевченко, 29/133

E-mail: k.smailov@satbayev.university, <https://orcid.org/0000-0002-9277-5254>.

Аннотация. В данной статье представлены результаты исследований по переработке отвальных руд медного производства одного из месторождений Казахстана. Содержание меди в пробах различных типов породообразования и взятых из разных точек отбора варьируется от 0,2 % до 0,9 %. В среднем, по южной стороне отвала содержание меди составило 0,3 %, а по северной — 0,28 %. Фазовый анализ проб отвала показал, что основная масса породы представлена кварцем, альбитом, мусковитом и клинохлором, а в некоторых участках были обнаружены значительные количества малахита и атакамита. Подробный минералогический анализ также выявил наличие сульфидных минералов, таких как пирит, халькопирит и халькозин. Для данного типа месторождений наиболее эффективным методом переработки является использование биогидрометаллургической технологии кучного выщелачивания. В рамках экспериментов по перколяционному выщелачиванию были рассмотрены следующие варианты: применение трихлоризоциануровой кислоты (ТХЦК) в качестве химического окислителя и адаптированной культуры *A. ferrooxidans* в качестве биоокислителя. Стандартное серноокислотное выщелачивание служило контрольным вариантом. Применение ТХЦК привело к увеличению извлечения меди в раствор только в течение первых 7 циклов, после чего эффективность химического окисления снизилась. Наибольшая результативность наблюдалась при предварительном бактериальном окислении: за 28 циклов орошения в продуктивный раствор было извлечено 76,08 % меди. Полученные продуктивные растворы всех вариантов подвергались полному технологическому циклу гидрометаллургического производства меди. В результате процессов экстракции и реэкстракции были получены растворы электролитов, полностью соответствующие качественным параметрам для проведения электролиза. На стадии электролиза из этих растворов было осаждено 30,8 г меди на катоде, что соответствует извлечению по току равному 94,6 %.

Ключевые слова: медьсодержащее сырье, биохимический метод, выщелачивание, *Acidobacillus Ferrooxidans*, трихлоризоциануровой кислоты, экстракция

Данное исследование было проведено при финансовой поддержке Министерства науки высшего образования Республики Казахстан в рамках программно-целевого финансирования (грант BR21882140).

Введение

Одной из ключевых особенностей большинства медных месторождений Казахстана является снижение запасов высококачественного сырья и накопление значительных объемов забалансовых отвалов с низким содержанием меди в пределах 0,1–0,5 %. Для переработки забалансового медного сырья, представленного преимущественно окисленной формой медьсодержащих минералов, применяется стандартная гидрометаллургическая технология, включающая серноокислотное выщелачивание, последующую жидкостную экстракцию и электролиз.

Однако, помимо забалансовых руд и отвалов с явно выраженной сульфидной или окисленной формой меди в минералах, существуют многочисленные месторождения со сложным минералогическим составом. В таких случаях, несмотря на преобладание окисленной формы меди, в составе месторождений также встречаются значительные примеси сульфидных и железосодержащих минералов, таких как пирит и арсенопирит. Хотя окисленные формы меди легко

растворяются при сернокислотном выщелачивании, присутствие сульфидов двухвалентного железа и других элементов значительно увеличивает расход серной кислоты в процессе гидрометаллургической переработки. Дополнительно, минералы с различными комбинациями железа, кальция, карбонатов и силикатов (например, тремолит, клинохлор, кальцит) также могут оказывать негативное влияние на процесс выщелачивания серной кислотой.

Современные технологии кучного выщелачивания и жидкостной экстракции меди детально исследованы как отечественными, так и зарубежными учеными (Koizhanova et al., 2023: 54; Nyamdelger et al., 2023: 26). Важным аспектом текущих исследований является применение бактерий для повышения эффективности извлечения меди из руд. Процесс, известный как «бактериальное выщелачивание», представляет собой усиленное выщелачивание металлов с помощью микробов.

Экономические преимущества бактериального выщелачивания подтверждены многочисленными исследованиями. Предварительная биообработка окисленных руд демонстрирует значительное увеличение процента извлечения меди. Исследования показали, что адаптация бактерий перед процессом биовыщелачивания существенно повышает его эффективность.

Особую роль в этих процессах играют бактерии *Thiobacillus ferrooxidans*, которые участвуют в выщелачивании сульфидных руд. В ходе биогеотехнологического процесса эти бактерии превращают нерастворимые сульфиды металлов в растворимые сульфаты. *Thiobacillus ferrooxidans* окисляют все сульфиды металлов и получают углерод, необходимый для их роста, из углекислого газа. Эти бактерии развиваются в кислой среде с pH от 1,0 до 4,8 и температуре от 3 до 40 °C, при оптимальных условиях pH 2–3 и температуре 28 °C. Тионовые бактерии встречаются в водоемах, почве и месторождениях серных и сульфидных руд, проявляя свою активность в присутствии кислорода.

В процессе биогеотехнологического выщелачивания металлов осуществляется орошение рудного материала или техногенных отходов, содержащих сульфиды металлов, растворами серной кислоты и солями железа, а также вводятся жизнеспособные тионовые бактерии. Для интенсификации бактериального выщелачивания используется кислород воздуха. В результате фильтрации раствора через материал, содержащий сульфиды металлов, происходит переход металлов в растворимое состояние. Таким образом, кучное выщелачивание представляет собой эффективный метод переработки окисдных медных забалансовых руд месторождений Республики Казахстан, параметры которого определяются экспериментально в зависимости от химического и фазового составов руд.

Отечественная и мировая практика демонстрируют успешное применение бактериальных культур в качестве окисляющего реагента (Wohlgemuth 2014: 7; Golian et al., 2023: 150). Основными преимуществами бактериального окисления являются высокая эффективность преобразования двухвалентного железа в трехвалентное и экономичность данной технологии.

При разработке технологии биовыщелачивания необходимо учитывать резко-континентальный климат месторождений Казахстана. Хотя данная технология широко используется в ЮАР, Австралии и странах Латинской Америки,

показательным является пример финской компании Talvivaara. В 2009–2010 годах, внедрив биохимическую технологию на месторождении Колмисоппи, компания добилась увеличения производства в 2,7 раза даже в условиях северных широт (Tezuyapar Kara et al., 2023: 3350; Cho et al., 2023: 5997; Akhmetov et al., 2022: 549; Li et al., 2021: 178; Seitkamal et al., 2020: 972; Foroutan et al., 2021: 8).

Материалы и методы

Объектом исследования является отвальная руда медного производства одного из месторождений Казахстана. Цель работы заключается в разработке уникальной технологии переработки отвалов, содержащих окисленные минералы меди, перекрытые значительными включениями сульфидных минералов и железо-кальциевых силикатов. Использование бактерий в качестве катализатора окислительных процессов позволит значительно повысить степень извлечения меди в продуктивный раствор.

Эксперименты по перколяционному выщелачиванию предполагают лабораторное моделирование процессов кучного выщелачивания. Были отобраны различные технологические пробы, представляющие различные составные фрагменты отвала: порода со значительными включениями малахита; проба, представленная в основном конгломератом; проба, представленная алевритом; и проба песчаника, сосредоточенная в основном у основания отвала.

Экспериментальная часть

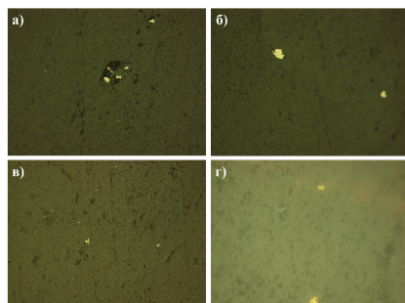
Перед началом перколяционного выщелачивания были определены базовые параметры процесса: концентрация серной кислоты в выщелачивающем растворе – 2,5 %, плотность орошения – 10 л/м² в час. Также перед основным орошением серной кислотой производилось влагонасыщение пробы и расчет влагоемкости. Площадь орошения вычисляется по формуле: $S = \pi R^2$. Зная площадь орошаемой поверхности и заданную плотность орошения в л/м² в час, рассчитывается необходимый объем раствора.

Загрузка проб рудного материала в перколяторы осуществлялась в следующих массовых соотношениях: малахит – 5 %, конгломерат – 30 %, алеврит – 40 %, песчаник – 25 %. Все породы, за исключением песчаника, предварительно перемешивались и усреднялись. 10 % песчаника загружалось на дно перколятора для имитации основания отвала, а оставшиеся 15 % равномерно перемешивались с остальной рудной массой. Пробы каждого образца породы и смешанная рудная масса для загрузки предварительно подвергались рентгенофлуоресцентному анализу. По результатам анализа, представленным в таблице 1, были определены составы каждого отдельного образца и смешанной усредненной пробы, а также проведены расчеты теоретического состава смешанной пробы в зависимости от массовых соотношений образцов.

Таблица 1 – Элементный состав образцов проб отвала и смешанной пробы образцов с заданными массовыми соотношениями, %

Элемент	Наименование компонентов, %				Показатели смешанных проб, %	
	Малахит	Конгломерат	Алевролит	Песчаник	Фактическое	Теоретическое
O	53,64	50,979	54,209	52,471	50,339	52,777
Na	1,119	1,318	1,802	1,079	1,567	1,4419
Mg	1,246	0,642	1,368	1,331	1,103	1,13485
Al	5,806	3,485	6,789	6,975	4,867	5,79515
Si	22,022	27,846	27,843	25,795	25,708	27,041
P	0,054	0,048	0,062	0,068	0,053	0,0589
S	0,269	0,031	0,116	0,026	0,479	0,07565
Cl	0,012	0,015	0,013	0,015	0,026	0,01405
K	1,147	0,579	1,199	1,662	0,834	1,126
Ca	5,953	5,162	0,855	2,12	3,044	2,718
Ti	0,435	0,239	0,476	0,522	0,312	0,414
V	0,006	0,006	0,007	0,01	0	0,0074
Mn	0,178	0,132	0,066	0,163	0,123	0,116
Fe	2,921	1,38	2,676	3,797	2,289	2,579
Cu	0,448	0,103	0,178	0,028	0,15	0,1315
Zn	0,014	0,007	0,013	0,015	0,024	0,0117
Rb	0,009	0,003	0,007	0,012	0,005	0,00715
Sr	0,011	0,007	0,007	0,014	0,01	0,00895
Zr	0,01	0,006	0,011	0,013	0,01	0,00995
Ba	0	0	0,1	0	0,416	0,04
Pb	0,006	0	0	0,016	0,01	0,0043

Образцы проб, взятые из различных точек отбора, были изучены методом минералогического анализа в отраженном свете с использованием микроскопа OLIMPUS-BX 51. Основную часть проб составляют нерудные минералы, среди которых отчетливо видны очень мелкие зерна пирита размером от 0,01 до 0,05 мм. Зерна пирита встречаются как в свободной форме, так и в сростках с нерудной массой, причем мелкий сульфидный материал сохраняет свои характерные обломочные и неправильные формы. Единичные зерна халькопирита, размером до 0,02 мм, также были обнаружены. Изображения сульфидных фрагментов пробы представлены на рисунке 1.



а) - пирит в сростке нерудной массы; б) - свободные зерна пирита; в) - очень мелкие зерна пирита;
г) - зерна халькопирита

Рисунок 1 – Фотографии минералогического анализа пробы при увеличении в 400 раз

После определения элементного состава проб медного отвала, основные фазовые компоненты были выявлены с помощью рентгенофазового анализа, проведенного на дифрактометре D8 Advance (BRUKER) с использованием излучения $\text{Cu} - \text{K}\alpha$. Результаты этого анализа представлены в таблицах 2 и 3. Согласно полученным данным, основная масса породообразующего материала в пробах как из северной, так и из южной части отвала, состоит из кварца. В значительных количествах также присутствуют альбит, кальцит, клинохлор и мусковит.

Таблица 2 – Результаты фазового состава северной стороны отвала

Название компонента	Формула	Содержание в образцах, %		
		Точка 1	Точка 2	Точка 3
Кварц	SiO_2	61,5	42,6	63,1
Альбит	$\text{Na}(\text{AlSi}_3\text{O}_8)$	18,1	32,5	24,7
Кальцит/карбонат кальция	CaCO_3	12,2	-	4,4
Мусковит	$\text{H}_2\text{KAl}_3\text{Si}_3\text{O}_{12}$	4,9	5,2	3,7
Клинохлор	$(\text{Mg,Fe})_6(\text{Si,Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$	3,3	-	4,1
Атакамит	$\text{Cu}_2\text{Cl}(\text{OH})_3$	-	10,1	-
Гидросульфат калия	$\text{K}_3\text{H}(\text{SO}_4)_2$	-	5,5	-
Гидрат сульфита серы калия	$\text{K}_2(\text{S}_3(\text{SO}_3)_2)(\text{H}_2\text{O})_{1,5}$	-	4,2	-
Гематит	Fe_2O_3			
Тенардит	Na_2SO_4	-	-	-

Таблица 3 – Результаты фазового состава южной стороны отвала

Название компонента	Формула	Содержание в образцах, %		
		Точка 1	Точка 2	Точка 3
Кварц	SiO_2	73,9	74,3	64,7
Альбит	$\text{NaAl}_{0,91}\text{Si}_3\text{O}_8$	10,2	11,7	14,8
Малахит	$\text{Cu}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3$	9,1	-	-
Клинохлор	$(\text{Mg,Fe})_6(\text{Si,Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$	4,0	6,7	6,1
Мусковит	$\text{H}_4\text{K}_2(\text{Al,Fe})_6\text{Si}_6\text{O}_{24}$	2,7	3,4	5,5
Кальцит/карбонат кальция	CaCO_3		3,8	8,8

Обсуждение результатов

В итоге смешанная руда медного отвала была загружена в три перколятора для проведения трех вариантов перколяционного выщелачивания (рисунок 2): 1) стандартное сернокислотное выщелачивание без дополнительного окисления; 2) выщелачивание с предварительным бактериальным окислением; 3) выщелачивание с предварительным химическим окислением. Окисление минерального сырья проводилось на стадии влагонасыщения. Для перколятора с бактериальным окислением был использован раствор с культурой *A. ferrooxidans* в питательной среде, адаптированной к соединениям меди. В перколяторе с химическим окислением применялся 0,5 % раствор трихлоризоциануровой кислоты (ТХЦК). В перколяторе без предварительного окисления для влагонасыщения использовался слабый 0,5 % раствор серной кислоты.

Влагонасыщение во всех трех вариантах составило 10 %. После влагонасыщения и окислительной обработки был запущен процесс выщелачивания. Подача раствора серной кислоты с концентрацией 25 г/л осуществлялась перистальтическими насосами, в соответствии с заданной базовой плотностью орошения – 10 л/м² в час. Объемы оборотных растворов составляли 2 литра. После прохождения раствора через рудный материал в перколяторе измерялся объем получаемых продуктивных растворов, анализировались остаточное содержание серной кислоты и концентрация ионов меди. Продуктивные растворы доукреплялись до концентрации серной кислоты 25 г/л и доводились до объема 2 литра, после чего использовались в новом оборотном цикле выщелачивания.



Рисунок 2 – Загруженные перколяторы для трех вариантов выщелачивания

Первое экстракционное извлечение меди из продуктивных растворов было произведено после 17 циклов выщелачивания. К тому моменту в растворах накопились достаточно высокие концентрации меди (> 3 г/л). После экстракции процесс выщелачивания продолжался с использованием рафината, полученного в результате извлечения меди органическим растворителем из продуктивного раствора. Последующая экстракция была проведена на завершающем этапе перколяционного выщелачивания после 28 циклов растворов. Результаты перколяционного выщелачивания и динамика извлечения меди в продуктивный раствор, как стандартными, так и окислительными методами выщелачивания, представлены в таблице 4 и на рисунке 3.

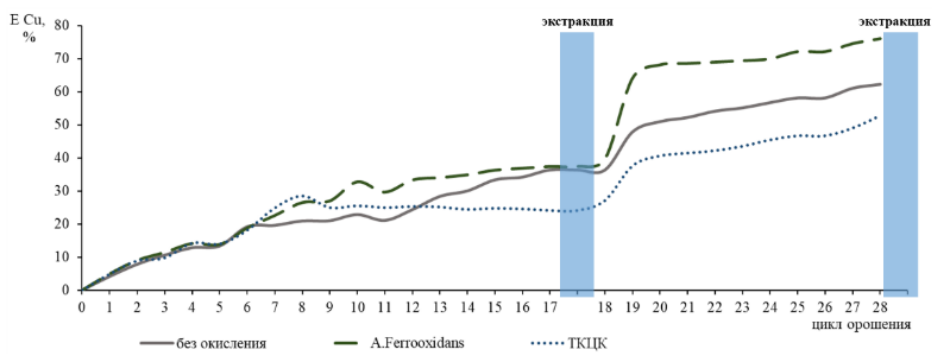
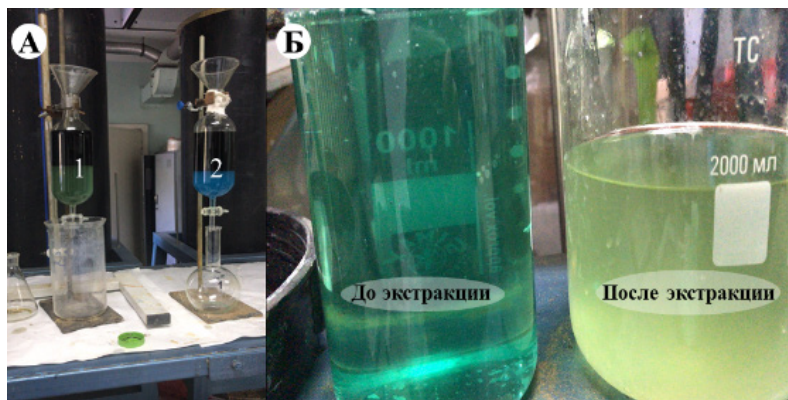


Рисунок 3- Динамика извлечения в продуктивный раствор

Из данных таблицы и графика видно, что на начальном этапе выщелачивания, в первые 7 циклов орошения, извлечение меди было примерно на одном уровне для всех вариантов. Затем в перколяторе с химическим окислением наблюдалось увеличение извлекаемой меди в раствор, которое продолжалось несколько дней. Однако, эффект химического окисления постепенно снижался, тогда как в варианте с бактериальным окислением фиксировался устойчивый рост извлечения меди в раствор. При достижении концентраций меди в растворах в диапазоне 3–4 г/л интенсивность извлечения в оборотные продуктивные растворы временно снизилась.

Для восстановления динамики извлечения меди была проведена серия экспериментов по экстракции и ре-экстракции, что позволило переместить часть растворенной меди из продуктивных растворов в электролиты с помощью органической фазы. Экстракция производилась с использованием селективного к меди экстрагента Lix 984, растворенного в концентрации 10 % в органическом растворителе Escaid. Соотношение водной и органической фаз на стадии экстракции составляло В:О = 1:1, а на стадии ре-экстракции – В:О = 3:5. Разделение и отстаивание фаз осуществлялось в делительных воронках (рисунок 4).



- а) разделение водной и органической фаз в делительных воронках: 1 – экстракция, 2 – ре-экстракция;
 б) изменение цвета продуктивного раствора.

Рисунок 4 – Процессы экстракции и ре-экстракции, отстаивание и разделение в воронках

На первом этапе экстракции в электролит было переведено 57,45 % меди из раствора стандартного серноокислотного выщелачивания, 66,79 % из раствора с бактериальным окислением и 69,02 % из раствора с использованием окислителя ТХЦК. Помимо того, что часть меди остается в оборотном рафинате, некоторое количество также остается в органической фазе, так как использование свежеприготовленных растворов органической фазы предполагает однократные потери меди. Эти потери обусловлены тем, что органическая фаза фиксирует некоторое количество меди, которое не удаляется даже в процессе промывки. Однако дальнейшего накопления меди в органической фазе не происходит – ее количество после полной ре-экстракции обычно остается на уровне 0,2-0,5 г/л.

На второй стадии экстракции в электролит было переведено 84,04 % меди при стандартном серноокислотном варианте, 84,4 % при бактериальном окислении и 78,06 % при химическом окислении ТХЦК. Расчет экстракционных показателей для каждого варианта получения продуктивного раствора приведен в таблице 5. Концентрация меди в полученных электролитах соответствовала требуемым параметрам (не менее 30 г/л и не более 60 г/л). Все полученные электролиты использовались на следующей технологической стадии – электроосаждении меди в электролизной ванне. Сила тока составляла 2,5 А.

Таблица 4 – Результаты перколяционного выщелачивания медьсодержащей пробы

Параметры продуктивных растворов																				
Сч, г/л	H ₂ SO ₄ , г/л	Fe ²⁺ , г/л	Fe ³⁺ , г/л	V, л	H ₂ SO ₄ , мл	E Cu, %	Cu, г/л	H ₂ SO ₄ , г/л	Fe ²⁺ , г/л	Fe ³⁺ , г/л	V, л	H ₂ SO ₄ , мл	E Cu, %	Cu, г/л	H ₂ SO ₄ , г/л	Fe ²⁺ , г/л	Fe ³⁺ , г/л	V, л	H ₂ SO ₄ , мл	E Cu, %
Без окисления, только H ₂ SO ₄ 25 г/л																				
0,5	5,1	1,1	0,2	2,0	22,1	4,17	0,63	3,70	2,3	0,1	2,0	23,67	4,94	0,66	0,00	1,40	0,10	2,0	27,8	4,89
0,94	5,4	1,2	0,2	2,0	21,8	7,83	1,15	5,88	2,5	0,15	2,0	21,24	9,02	1,20	1,08	1,50	0,10	2,0	26,6	8,89
1,41	11,3	1,8	0,2	1,8	16,5	10,58	1,62	11,3	2,7	0,15	1,8	16,48	11,44	1,65	6,80	1,50	0,10	1,6	21,7	9,78
1,54	9,8	2,2	0,2	2,0	16,9	12,83	1,80	10,8	3,3	0,15	2,0	15,78	14,12	1,92	7,35	1,70	0,10	2,0	19,6	14,22
1,78	10,3	2,5	0,3	1,8	17,5	13,35	1,96	12,25	3,3	0,2	1,8	15,53	13,84	2,10	10,10	2,10	0,10	1,8	17,7	14,00
2,3	12,0	2,5	0,3	2,0	14,4	19,17	2,4	16,0	3,3	0,2	2,0	10,00	18,82	2,45	10,80	2,40	0,10	2,0	15,8	18,15
2,35	12,7	2,7	0,3	2,0	13,7	19,58	2,88	14,7	3,5	0,2	2,0	11,44	22,59	3,36	11,20	2,40	0,15	2,0	15,3	24,89
2,51	11,76	3,2	0,3	2,0	14,7	20,92	3,38	13,72	3,5	0,2	2,0	12,53	26,51	3,85	8,82	2,40	0,15	2,0	18,0	28,52
2,65	11,5	3,4	0,3	1,3	19,5	14,35	4,12	16,4	3,6	0,2	1,6	13,20	25,85	3,41	9,80	2,50	0,15	0,8	23,4	10,10
2,74	5,0	3,4	0,3	2,0	22,2	22,83	4,18	12,3	3,6	0,2	2,0	14,11	32,78	3,45	5,00	2,50	0,15	2,0	22,2	25,56
2,81	12,3	3,4	0,3	1,8	15,5	21,08	4,20	13,5	3,6	0,2	1,8	14,28	29,65	3,30	9,00	2,80	0,20	1,3	21,3	16,85
2,92	15,92	3,6	0,3	2,0	10,1	24,33	4,25	17,4	3,8	0,2	2,0	8,44	33,33	3,42	17,60	2,80	0,20	2,0	8,2	25,33
3,4	20,09	3,8	0,3	2,0	5,5	28,33	4,34	19,6	4,3	0,2	2,0	6,00	34,04	3,40	10,29	3,00	0,20	2,0	16,3	25,19
3,6	15,4	4,0	0,3	2,0	10,7	30,0	4,45	16,9	4,3	0,2	2,0	9,00	34,90	3,30	18,40	3,00	0,20	2,0	7,3	24,44
4,0	16,4	4,0	0,3	2,0	9,6	33,33	4,63	15,7	4,5	0,23	2,0	10,33	36,31	3,35	17,40	3,20	0,25	2,0	8,4	24,81
4,1	14,1	4,2	0,3	2,0	12,1	34,17	4,70	16,0	4,5	0,23	2,0	10,00	36,86	3,32	14,50	3,20	0,25	2,0	11,7	24,59
4,36	13,47	4,2	0,33	2,0	12,8	36,33	4,77	16,66	4,5	0,23	2,0	9,27	37,41	3,26	13,72	3,20	0,28	2,0	12,5	24,15
Экстракция: 10 % Li ₂ S ₂ O ₈ / 90 % Escacid										Экстракция: 10 % Li ₂ S ₂ O ₈ / 90 % Escacid										
1,35	25,0	4,5	0,4	2,0	0,0	36,33	1,09	25,0	4,8	0,25	2,0	0,0	39,75	0,52	25,0	3,5	0,3	2,0	0,0	27,17
3,03	12,74	4,5	0,4	1,8	15,0	47,81	4,46	15,2	4,8	0,25	1,8	12,58	64,12	2,03	11,5	3,5	0,3	1,75	16,6	37,64
3,1	19,1	4,5	0,4	2,0	6,6	50,92	4,5	17,64	4,9	0,25	2,0	8,18	68,17	2,14	15,4	3,5	0,32	2,0	10,67	40,67

Продолжение таблицы 4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
3.25	19.6	4.7	0.5	2.0	0.0	52.17	4.55	26.95	4.9	0.25	2.0	0.0	68.58	2.24	26.0	3.5	0.3	2.0	0.0	41.5
3.48	10.3	4.7	0.5	2.0	16.3	54.08	4.6	17.15	5.0	0.25	2.0	8.72	69.0	2.33	12.25	3.5	0.3	2.0	14.17	42.25
3.79	14.2	4.75	0.5	2.0	12.0	56.67	4.72	18.4	5.1	0.25	2.0	7.33	70.0	2.72	14.7	3.7	0.35	2.0	11.44	45.5
3.6	14.7	4.7	0.5	2.0	11.4	55.08	4.65	17.15	5.0	0.25	2.0	8.72	69.42	2.49	15.2	3.55	0.3	2.0	10.89	43.58
3.96	17.2	4.9	0.5	2.0	0.0	58.08	4.98	17.2	5.1	0.25	2.0	0.0	72.17	2.87	17.2	3.7	0.35	2.0	0.0	46.75
4.2	18.86	4.9	0.55	1.8	8.9	56.58	5.11	20.3	5.2	0.28	1.8	7.48	68.99	3.02	18.4	3.7	0.35	1.8	9.38	45.48
4.31	15.93	4.95	0.55	2.0	0.0	61.0	5.27	18.13	5.2	0.28	2.0	0.0	74.58	3.15	14.7	3.9	0.35	2.0	0.0	49.08
4.45	10.29	5.09	0.6	2.0	16.3	62.17	5.45	17.15	5.2	0.28	2.0	8.72	76.08	3.6	10.29	3.9	0.38	2.0	16.34	52.83

Таблица 5 – Баланс меди в процессе экстракции и ре-экстракции

Наименование продуктов	Параметры растворов								
	Без окисления, H ₂ SO ₄ 25 г/л			A.Ferrooxidans + H ₂ SO ₄ 25 г/л			ТХЦК + H ₂ SO ₄ 25 г/л		
	Cu, г/л	V, л	%	Cu, г/л	V, л	%	Cu, г/л	V, л	%
Экстракция 1									
PLS	4,36	2,0	100,00	4,77	2,0	100,00	3,26	2,0	100,00
Raf	1,35	2,0	31,0	1,09	2,0	22,9	0,52	2,0	16,0
Органика	2,02	0,5	11,6	1,976	0,5	10,4	1,96	0,5	15,0
Электролит	16,7	0,3	57,45	21,24	0,3	66,79	15,0	0,3	69,02
Cu из оборота, г	6,02			7,36			5,48		
Экстракция 2									
PLS	4,45	2,0	100,00	5,45	2,0	100,00	3,6	2,0	100,00
Raf	0,6	2,0	13,5	0,8	2,0	14,7	0,7	2,0	19,4
Органика	0,44	0,5	2,5	0,2	0,5	0,9	0,36	0,5	2,5
Электролит	45,0	0,3	84,04	55,2	0,3	84,40	37,0	0,3	78,06
Cu из оборота, г	13,72			16,66			11,28		

Для осаждения использовался медный катод с изначальной массой 94,2 г, а в качестве анодов служили нерастворимые свинцовые пластинки. Электрохимический эквивалент меди составляет $A=0,329$ мг/А·сек. Процесс электролиза длился 11 часов. Теоретический выход металла при электролизе вычисляется по формуле:

$$G = A \cdot I \cdot t, \quad (1)$$

где G – количество выделенного вещества; I – сила электрического тока; A , t – время, сек.

Подставив значения:

$$G = 0,329 \text{ мг/А} \cdot \text{сек} \cdot 2,5 \text{ А} \cdot 11 \cdot 60 \cdot 60 = 32\,571 \text{ мг} = 32,571 \text{ г}. \quad (2)$$

По завершению процесса электролиза масса катода составила 125 г (рисунок 15). Таким образом, на катоде было осаждено 30,8 г меди. Извлечение меди составляет:

$$E_{\text{Cu}} = G_{\text{практ.}} / G_{\text{теор.}} \cdot 100 \% = 30,8 / 32,571 \cdot 100 \% = 94,6 \%$$

Заключение

Таким образом, был изучен вещественный состав медного минерального сырья и произведен отбор проб отвала. Основная масса рудной породы отвала представлена конгломератами, алевролитом и песчаником. Среди медных минералов наблюдаются залежи малахита, халькопирита и атакамита. Содержание меди в пробах различного породообразования, взятых из разных точек отвала, варьируется от 0,2 до 0,9 %. В среднем, по южной стороне отвала содержание меди составило 0,3 %, по северной – 0,28 %. Фазовый анализ проб отвала показал, что основная масса породы представлена кварцем, альбитом, мусковитом и клинохлором, а также значительными количествами малахита и атакамита в ряде участков. Подробный минералогический анализ выявил, что помимо окисленных форм минералов, присутствуют также фрагменты сульфидных минеральных образований, таких как пирит, халькопирит и халькозин.

Исследования химического, фазового и минералогического составов медьсодержащего сырья отвала показали неоднородность и многообразие форм залегания меди и других примесных элементов. В рамках перколяционного выщелачивания были рассмотрены три варианта: применение трихлоризоциануровой кислоты (ТХЦК) в качестве химического окислителя, адаптированной культуры *A. ferrooxidans* в качестве биоокислителя, и стандартное сернокислотное выщелачивание в качестве контрольного варианта. Применение ТХЦК показало увеличение извлечения меди в раствор только в течение первых 7 циклов, после чего эффективность химического окисления снизилась, и за 28 циклов выщелачивания показатель извлечения составил 52,83 %. Стандартное сернокислотное выщелачивание за тот же период привело к извлечению 62,17 % меди. Наибольшая эффективность наблюдалась при предварительном бактериальном окислении, где за 28 циклов было извлечено 76,08 % меди в продуктивный раствор.

Все продуктивные растворы подвергались полному технологическому циклу гидрометаллургического производства меди. В результате процессов экстракции и ре-экстракции были получены растворы электролитов, соответствующие качественным параметрам для проведения электролиза. На стадии электролиза из этих растворов было осаждено 30,8 г меди на катоде, что дало извлечение по току, равное 94,6 %.

В ходе экспериментов были установлены оптимальные условия для наращивания бактериальной культуры *A. ferrooxidans*, адаптированной к химическому составу медьсодержащего минерального сырья. Было определено, что для более эффективного бактериального окисления минерального сырья целесообразно проводить предварительную обработку бактериальным раствором при pH не менее 1,5. При снижении pH менее 1,2 наблюдается отрицательное влияние на выживаемость бактериальных клеток. Оптимальный температурный режим для роста и развития культуры *A. ferrooxidans* находится в диапазоне 20-30 °C. Применение наиболее благоприятных условий для роста бактериальных клеток (pH = 2,3 и t = 20-30 °C) позволяет увеличить их концентрацию с $0,1 \times 10^6$ кл/см³ до $2,8 \times 10^6$ кл/см³.

Были определены основные механизмы каталитического воздействия микроорганизмов на окислительные процессы, происходящие при окислении сульфидных минералов медьсодержащего сырья. Показано, что наличие бактериальной культуры существенно ускоряет разложение сульфидных

минералов, включая халькопирит и халькозин. Лучшие результаты селективности были получены при использовании экстрагента серии LIX984, который обеспечивал максимальное извлечение меди из раствора — 94,0 %, при минимальном извлечении железа — 0,83 %.

При оценке емкости органической фазы по меди было установлено, что оптимальным соотношением потоков продуктивного раствора и органической фазы является $O:B = 1:2$. Превышение этого соотношения $O:B > 1:5$, приводит к повышению вязкости органической фазы из-за избыточного насыщения, что может привести к образованию сгустков.

REFERENCES

- Akhmetov L.I. Puntus I.F. Narmanova R.A. Appazov N.O. Funtikova T.V. Regepova A.A. Filonov A.E. (2022). Recent Advances in Creating Biopreparations to Fight Oil Spills in Soil Ecosystems in Sharply Continental Climate of Republic of Kazakhstan. *Processes* 2022. — 10. — 549. DOI: 10.3390/PR10030549
- Cho K.H. Kim H.S. Lee C.G. Park S.J. Choi N.C. (1997). A Comparative Study on Bioleaching Properties of Various Sulfide Minerals Using *Acidiphilium cryptum*. *Appl. Sci.* 2023. — 13. — 5997. DOI: 10.3390/APP13105997
- Foroutan A., Bazpors Ghaziani S., Abbas Zadeh Haji Abadi M. et al. (2021). Intensification of Zinc Bioleaching from a Zinc–Iron Bearing Ore by Condition Optimization and Adding Catalysts. *Trans Indian Inst. — Met* 74. — 1–8. (2021). DOI: 10.1007/S12666-020-02117-1
- Golian S. El-Idrissy H. Stambuk D. (2023). Using CMIP6 Models to Assess Future Climate Change Effects on Mine Sites in Kazakhstan. *Hydrology* 2023. — 10. — 150. <https://doi.org/10.3390/hydrology10070150>
- Koizhanova A., Kenzhaliyev B., Magomedov D., Kamalov E., Yerdenova M., Bakrayeva A., Abdyldayev N. (2023). Study of Factors Affecting the Copper Ore Leaching Process. *ChemEngineering*. — 7 — 54 — DOI: 10.3390/chemengineering7030054
- Li M., Wen J. (2021). Recent progress in the application of omics technologies in the study of bio-mining microorganisms from extreme environments. *Microb Cell Fact.* 2021. — Sep 8. — 20(1):178. DOI: 10.1186/S12934-021-01671-7
- Nyamdelger Shirchinamjil, Narangarav Tumen-Ulzii, Nemekhbayar Davaadorj, Enkhtuul, Surenjav (2023). Treatment of Copper-Containing Leaching Residue by Sulfation Roasting Followed by Acid/Water Leaching. *Mongolian Journal of Chemistry*. — 18–26 — DOI: 10.5564/MJC.V24I50.1310
- Tezyapar Kara I., Kremser K., Wagland S.T. et al. (2023). Bioleaching Metal-Bearing Wastes and By-Products for Resource Recovery: A Review. *Environmental Chemistry Letters*. — 21. — 3329–3350. (2023). DOI: 10.1007/S10311-023-01611-4
- Seitkamal K.N. Zhappar N.K. Shaikhutdinov V.M. Shibayeva A.K., Ilyas S. Korolkov I.V., Kim H. (2020). Bioleaching for the Removal of Arsenic from Mine Tailings by Psychrotolerant and Mesophilic Microbes at Markedly Continental Climate Temperatures. *Minerals*. 2020. — 10. — 972. DOI: 10.3390/MIN10110972
- Wohlgemuth R. (2014). 7.04 Oxidation by Microbial Methods. DOI: 10.1016/B978-0-08-097742-3.00705-9

МАЗМҰНЫ

ФИЗИКА

М.Б. Альбатырова, А.Ж. Алибек, А.С. Жетписбаева РУТНОН ПАЙДАЛАНУ АРҚЫЛЫ ФИЗИКАЛЫҚ ҚҰБЫЛЫСТАРДЫ МОДЕЛЬДЕУ.....	7
Н. Бейсен, Э. Кеведо, С. Тоқтарбай, М. Жакипова, М. Алимкулова Q-МЕТРИКА ҚИСЫҚТЫҒЫНЫҢ МЕНШІКТІ МӘНДЕРІ.....	17
Г. Бекетова, Н. Жантурина*, З. Аймаганбетова, А. Бекешев ЦЕЗИЙГЕ НЕГІЗДЕЛГЕН ҚОСАРЛАНҒАН ГАЛОИДТЫ ПЕРОВСКИТТЕРДІҢ ОПТИКАЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІ.....	31
С.Б. Дубовиченко, Н.А. Буркова, А.С. Ткаченко, Д.М. Зазулин ЖАЛПЫ БӨЛІМДЕРІ ЖӘНЕ ПРОЦЕСС ҚАРҚЫМЫ $n^{12}C$	43
А. Касымов, А. Адылканова, А. Бектемисов, К. Астемесова, Г. Турлыбекова ГИБРИДТІ КҮН КОЛЛЕКТОРЫНДА ҚОЛДАНУҒА АРНАЛҒАН БИДИСТИЛЬДЕНГЕН СУ НЕГІЗІНДЕГІ TiO_2/Al_2O_3 ГИБРИДТІ НАНОСҰЙЫҚТЫҢ ТҮТҚЫРЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІН ЗЕРТТЕУ.....	52
А.Е. Кемелбекова, Д.М. Мухамедшина, К.А. Мить, Р.С. Мендыханов, К.К. Елемесов СИРЕК ЖЕР МЕТАЛДАРЫН НЕГІЗІНДЕГІ ФОТОСЕЗІМТАЛ ҚҰРЫЛЫМДАРДЫ ЖАСАУ ЖӘНЕ ЗЕРТТЕУ.....	63
Е.Т. Кожажулов, Д.М. Жексебай, С.А. Сарманбетов, Н.М. Үсіпов, К.Т. Көпбай АҚПАРАТТЫҚ ЭНТРОПИЯНЫҢ НЕГІЗІНДЕ САНДЫҚ МОДУЛЯЦИЯНЫ АНЫҚТАУ.....	73
Е.М. Мырзакулов, А.С. Бұланбаева ҚАРА ҚҰРДЫМ ШЕШІМДЕРІ ЖӘНЕ ОНЫҢ ТЕРМОДИНАМИКАСЫ.....	84
Д.М. Насирова, В.О. Курмангалиева, А.А. Ғазизова ШАҒЫН ЖҰЛДЫЗДАРДАҒЫ ЭНЕРГИЯ КӨЗДЕРІ.....	95
А. Серебрянский, А. Халикова МАШИНАЛЫҚ ОҚЫТУ ӘДІСТЕРІН ҚОЛДАНЫП ШОЛУ ЖӘНЕ МОНИТОРИНГТІ ФОТОМЕТРЛІК БАҚЫЛАУЛАРЫНАН АЙНЫМАЛЫ ЖҰЛДЫЗДАРДЫ ІЗДЕУ.....	103

ХИМИЯ

Б.С. Абжалов, А.Б. Башов, А.К. Мамырбекова, С.А. Жұмаділлаева, М.О. Алтынбекова ҚЫШҚЫЛ ОРТАДА ВИСМУТ ЭЛЕКТРОДЫНЫҢ ЭЛЕКТРОХИМИЯЛЫҚ ҚАСИЕТІНЕ АЙНЫМАЛЫ ТОКТЫҢ ЖИЛПІ МЕН ТЫҒЫЗДЫҒЫНЫҢ ӘСЕРІ.....	116
Е.Г. Гилязов, Д.К. Кулбатыров, М.Д. Уразгалиева, К.Р. Мақсот ТІКЕЛЕЙ АЙДАУДАН АЛЫНҒАН БЕНЗИННІҢ ОКТАН САНЫН АРТТЫРАТЫН ОКСИГЕНАТТАРДЫҢ ТИІМДІЛІГІ.....	127

Д.Ж. Калиманова, А.К. Мендигалиева, А.Б. Медетова, О.С. Сембай ХИМИЯ САБАҚТАРЫНДА ЭЛЕКТРОНДЫҚ БІЛІМ РЕСУРСТАРЫН, ОЙЫН ТЕХНОЛОГИЯЛАРЫН ПАЙДАЛАНЫП ОҚУШЫЛАРДЫҢ НӘТИЖЕЛЕРІН ЖИЫНТЫҚ БАҒАЛАУ.....	140
Л.М. Калимолдина, Г.С. Султангазиева, С.О. Абилкасова АЛМАТЫ ҚАЛАСЫНЫҢ СУ РЕСУРСТАРЫНЫҢ ХИМИЯЛЫҚ ЗАТТАРМЕН ЛАСТАНУ ДЕҢГЕЙІН ЗЕРТТЕУ.....	152
Б.К. Кенжалиев, А.К. Койжанова, М.Б. Ерденова, Д.Р. Магомедов, К.М. Смаилов ҮЙІНДІ КЕНДЕРДЕН МЫС АЛУДЫ БИОХИМИЯЛЫҚ ЖӘНЕ ХИМИЯЛЫҚ ТОТЫҚТЫРУ ӘДІСТЕРІМЕН ОҢТАЙЛАНДЫРУ.....	167
Г.М. Мадыбекова, Т.Т. Туребаева, Б.Ж. Муталиева, Д.М. Лесбекова, А.Б. Исаева БЕЛСЕНДІ АГЕНТТЕРДІ ЖЕТКІЗУ ҮШІН МИКРОКАПСУЛЯЦИЯЛЫҚ ӘДІСТЕРДІ ҚОЛДАНУДЫҢ АРТЫҚШЫЛЫҚТАРЫ МЕН ПОЦЕНЦИАЛЫ: ШОЛУ.....	183
Б.К. Масалимова, Б. Джанекова, С.М. Наурызкулова NI-RU ҚҰРАМДЫ КҮРДЕЛІ ОКСИДТЕРГЕ НЕГІЗДЕЛГЕН КОМПОЗИТТЕР ҚҰРАМЫН ЭНЕРГОДИСПЕРСТІ СПЕКТРОСКОПИЯ ӘДІСІМЕН САНДЫҚ ХИМИЯЛЫҚ ТАЛДАУ.....	198
С. Тұрғанбай, А.И. Ильин, Д.А. Аскарова, А.Б. Джумагазиева, З.С. Ашимханова ӨРТҮРЛІ СҮЙЫЛТУЛАРДАҒЫ АФС ЕРІТІНДІЛЕРІНДЕГІ ФИЗИКА- ХИМИЯЛЫҚ ТЕПЕ-ТЕНДІКТІ ЗЕРТТЕУ.....	209
А.М. Усербаева, Р.Г. Рыскалиева ХИМИЯ ПӘНІНЕН ОҚУ-ӘДІСТЕМЕЛІК КЕШЕН ҚҰРАСТЫРУДЫҢ ҒЫЛЫМИ ПЕДАГОГИКАЛЫҚ НЕГІЗДЕРІ.....	228
С.Д. Фазылов, О.А. Нұркенов, Ж.С. Нұрмағанбетов, Р.Е. Бәкірова, М.Ж. Жұрынов ЦИКЛОДЕКСТРИНДЕР ХИМИЯЛЫҚ ҚОСЫЛЫСТАРДЫҢ СУПРАМОЛЕКУЛАЛЫҚ КОНТЕЙНЕРЛЕРІ РЕТІНДЕ.....	241

СОДЕРЖАНИЕ

ФИЗИКА

М.Б. Альбатырова, А.Ж. Алибек, А.С. Жетписбаева МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ PYTON.....	7
Н. Бейсен, Э. Кеведо, С. Токтарбай, М. Жакипова, М. Алимкулова СОБСТВЕННЫЕ ЗНАЧЕНИЯ КРИВИЗНЫ Q-МЕТРИКИ.....	17
Г. Бекетова, Н. Жантурина, З. Аймаганбетова, А. Бекешев ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ДВОЙНЫХ ГАЛОИДНЫХ ПЕРОВСКИТОВ НА ОСНОВЕ ЦЕЗИЯ.....	31
С.Б. Дубовиченко, Н.А. Буркова, А.С. Ткаченко, Д.М. Зазулин ПОЛНЫЕ СЕЧЕНИЯ И СКОРОСТЬ РАДИАЦИОННОГО $n^{12}\text{C}$ ЗАХВАТА.....	43
А. Касымов, А. Адылканова, А. Бектемисов, К. Астемесова, Г. Турлыбекова ИССЛЕДОВАНИЕ ВЯЗКОСТНЫХ СВОЙСТВ ГИБРИДНОЙ НАНОЖИДКОСТИ $\text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ НА ОСНОВЕ БИДИСТИЛЛИРОВАННОЙ ВОДЫ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В ГИБРИДНОМ СОЛНЕЧНОМ КОЛЛЕКТОРЕ.....	52
А.Е. Кемелбекова, Д.М. Мухамедшина, К.А. Мить, Р.С. Мендыханов, К.К. Елемесов СОЗДАТЬ И ИССЛЕДОВАТЬ ФОТОЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ СТРУКТУРЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛОВ.....	63
Е.Т. Кожугулов, Д.М. Жексебай, С.А. Сарманбетов, Н.М. Усипов, К.Т. Копбай ИДЕНТИФИКАЦИЯ ЦИФРОВОЙ МОДУЛЯЦИИ НА ОСНОВЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ ЭНТРОПИИ.....	73
Е.М. Мырзакулов, А.С. Буланбаева РЕШЕНИЯ РЕГУЛЯРНОЙ ЧЕРНОЙ ДЫРЫ И ИХ ТЕРМОДИНАМИКА.....	84
Д.М. Насирова, В.О. Курмангалиева, А.А. Газизова ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ В КОМПАКТНЫХ ЗВЕЗДАХ.....	95
А. Серебрянский, А. Халикова ПОИСК ПЕРЕМЕННЫХ ЗВЕЗД В МОНИТОРИНГОВЫХ И ОБЗОРНЫХ ФОТОМЕТРИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЯХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ.....	103

ХИМИЯ

Б.С. Абжалов, А.Б. Башов, А.К. Мамырбекова, С.А. Джумадуллаева, М.О. Алтынбекова ВЛИЯНИЕ ЧАСТОТЫ И ПЛОТНОСТИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА НА ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЕ ПОВЕДЕНИЕ ВИСМУТОВОГО ЭЛЕКТРОДА В КИСЛОЙ СРЕДЕ.....	116
Е.Г. Гиладжов, Д.К. Кулбатыров, М.Д. Уразгалиева, К.Р. Мақсот ЭФФЕКТИВНОСТИ ОКСИГЕНАТОВ НА ПОВЫШЕНИЕ ОКТАНОВОГО ЧИСЛА ПРЯМОГОННОГО БЕНЗИНА.....	127

Д.Ж. Калиманова, А.К. Мендигалиева, А.Б. Медетова, О.С. Сембай СУММАТИВНОЕ ОЦЕНИВАНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ УЧАЩИХСЯ НА УРОКАХ ХИМИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭЛЕКТРОННЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ РЕСУРСОВ, ИГРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ.....	140
Л.М. Калимолдина, Г.С. Султангазиева, С.О.Абилкасова ИССЛЕДОВАНИЕ УРОВНЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ХИМИЧЕСКИМИ ВЕЩЕСТВАМИ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ ГОРОДА АЛМАТЫ.....	152
Б.К. Кенжалиев, А.К. Койжанова, М.Б. Ерденова, Д.Р. Магомедов, К.М. Смаилов ОПТИМИЗАЦИЯ ИЗВЛЕЧЕНИЯ МЕДИ ИЗ ОТВАЛЬНЫХ РУД С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БИОХИМИЧЕСКИХ И ХИМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ОКИСЛЕНИЯ.....	167
Г.М. Мадыбекова, Т.Т. Туребаева, Б.Ж. Муталиева, Д.М. Лесбекова, А.Б. Исаева ПРЕИМУЩЕСТВА И ПОТЕНЦИАЛ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДОВ МИКРОКАПСУЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ДОСТАВКИ АКТИВНЫХ АГЕНТОВ: ОБЗ ОР.....	183
Б.К. Масалимова, Б. Джанекова, С.М. Наурзкулова КОЛИЧЕСТВЕННЫЙ ХИМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СОСТАВА КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ NI-RU – СОДЕРЖАЩИХ СЛОЖНЫХ ОКСИДОВ МЕТОДОМ ЭНЕРГОДИСПЕРСНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ.....	198
С. Тұрғанбай, А.И. Ильин, Д.А. Аскарова, А.Б. Джумагазиева, З.С. Ашимханова ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ РАВНОВЕСИЙ В РАСТВОРАХ АФС ПРИ РАЗЛИЧНЫХ РАЗВЕДЕНИЯХ.....	209
А.М. Усербаева, Р.Г. Рыскалиева НАУЧНО – ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СОСТАВЛЕНИЯ УЧЕБНО- МЕТОДИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ПО ХИМИИ.....	228
С.Д. Фазылов, О.А. Нуркенов, Ж.С. Нурмаганбетов, Р.Е. Бакирова, М.Ж. Журинов ЦИКЛОДЕКСТРИНЫ КАК СУПРАМОЛЕКУЛЯРНЫЕ КОНТЕЙНЕРЫ ХИМИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ.....	241

CONTENTS

PHYSICAL

M.B. Albatyrova, A.Zh. Alibek, A.S. Zhetpisbayeva MODELING PHYSICAL PHENOMENA USING PYTHON.....	7
N. Beissen, H. Quevedo, S. Toktarbay, M. Zhakipova, M. Alimkulova CURVATURE EIGENVALUES OF THE Q-METRIC.....	17
G. Beketova, N. Zhanturina, Z. Aimaganbetova, A. Bekeshev OPTICAL PROPERTIES OF DOUBLE HALIDE PEROVSKITES BASED ON CESIUM.....	31
S.B. Dubovichenko, N.A. Burkova, A.S. Tkachenko, D.M. Zazulin TOTAL CROSS-SECTIONS AND RATE OF $n^{12}\text{C}$ RADIATIVE CAPTURE.....	43
A. Kassymov, A. Adylkanova, A. Bektemissov, K. Astemessova, G. Turlybekova INVESTIGATION OF VISCOSITY PROPERTIES OF $\text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ HYBRID NANOFLUID BASED ON BIDISTILLED WATER FOR USE IN A HYBRID SOLAR COLLECTOR.....	52
A.E. Kemelbekova, D.M. Mukhamedshina, K.A. Mit', R.S. Mendykanov, A.K. Shongalova CREATING AND RESEARCH ON PHOTSENSITIVE STRUCTURES USING RARE EARTH METALS.....	63
Y.T. Kozhagulov, D.M. Zhexebay, S.A. Sarmanbetov, N.M. Ussipov, K.T. Kopbay IDENTIFICATION OF DIGITAL MODULATION BASED ON INFORMATIONAL ENTROPY.....	73
Y. Myrzakulov, A. Bulanbayeva A REGULAR BLACK HOLE SOLUTIONS AND THEIR THERMODYNAMICS.....	84
D.M. Nassirova, V.O. Kurmangaliyeva, A.A. Gazizova SOURCES OF ENERGY IN COMPACT STARS.....	95
A. Serebryanskiy, A. Khalikova SEARCH FOR VARIABLE STARS IN MONITORING AND SURVEY PHOTO- METRIC OBSERVATIONS USING MACHINE LEARNING METHODS.....	103

CHEMISTRY

B.S. Abzhalov, A.B. Bayeshov, A.K. Mamyrbekova, S.A. Dzhumadullayeva, M.O. Altynbekova INFLUENCE OF AC FREQUENCY AND DENSITY ON THE ELECTROCHEMI- CAL BEHAVIOR OF BISMUTH ELECTRODE IN AN ACID MEDIUM.....	116
Y.G. Gilazhov, D.K. Kulbatyrov, M.D. Urazgalieva, K.R. Maksot EFFICIENCY OF OXYGENATES ON INCREASE OF OCTANE NUMBER OF STRAIGHT-RUN GASOLINE.....	127
D. Zh. Kalimanova, A. K. Mendigaliyeva, A.B. Medetova, O.S. Sembay SUMMATIVE ASSESSMENT OF STUDENTS' RESULTS IN CHEMISTRY LESSONS USING ELECTRONIC EDUCATIONAL RESOURCES, GAME	

TECHNOLOGIES.....	140
L.M. Kalimoldina, G.S. Sultangazieva, S.O. Abilkasova STUDY OF CHEMICAL POLLUTION LEVEL IN WATER RESOURCES OF ALMATY CITY.....	152
B.K. Kenzhaliev, A.K. Koizhanova, M.B. Yerdenova, D.R. Magomedov, K.M. Smailov OPTIMIZATION OF COPPER EXTRACTION FROM WASTE ORES USING BIOCHEMICAL AND CHEMICAL OXIDATION METHODS.....	167
G.M. Madybekova, T.T. Turebayeva, B.Zh. Mutaliev, D.M. Lesbekova, A.B. Issayeva ADVANTAGES AND POTENTIAL OF USING MICROCAPSULATION METHODS FOR DELIVERY OF ACTIVE AGENTS: A REVIEW.....	183
B.K. Massalimova, B. Janekova, S.M. Naurzkulova QUANTITATIVE CHEMICAL ANALYSIS OF THE COMPOSITION OF COMPOSITES BASED ON NI-RU-CONTAINING COMPLEX OXIDES BY ENERGY-DISPERSED SPECTROSCOPY.....	198
S. Turganbay, A.I. Ilin, D. Askarova, A.B. Jumagaziyeva, Z. Ashimkhanova STUDY OF PHYSICOCHEMICAL EQUILIBRIA IN API SOLUTIONS AT DIFFERENT DILUTIONS.....	209
A.M. Userbayeva, R.G. Ryskaliyeva SCIENTIFIC AND PEDAGOGICAL FOUNDATIONS OF THE PREPARATION OF AN EDUCATIONAL AND METHODOLOGICAL COMPLEX IN CHEMISTRY.....	228
S.D. Fazylov, O.A. Nurkenov, Zh.S. Nurmaganbetov, R.E. Bakirova, M.J. Jurinov CYCLODEXTRINS AS SUPRAMOLECULAR CONTAINERS OF CHEMICAL COMPOUNDS.....	241

Publication Ethics and Publication Malpractice in the journals of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan

For information on Ethics in publishing and Ethical guidelines for journal publication see <http://www.elsevier.com/publishingethics> and <http://www.elsevier.com/journal-authors/ethics>.

Submission of an article to the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan implies that the work described has not been published previously (except in the form of an abstract or as part of a published lecture or academic thesis or as an electronic preprint, see <http://www.elsevier.com/postingpolicy>), that it is not under consideration for publication elsewhere, that its publication is approved by all authors and tacitly or explicitly by the responsible authorities where the work was carried out, and that, if accepted, it will not be published elsewhere in the same form, in English or in any other language, including electronically without the written consent of the copyright-holder. In particular, translations into English of papers already published in another language are not accepted.

No other forms of scientific misconduct are allowed, such as plagiarism, falsification, fraudulent data, incorrect interpretation of other works, incorrect citations, etc. The National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan follows the Code of Conduct of the Committee on Publication Ethics (COPE), and follows the COPE Flowcharts for Resolving Cases of Suspected Misconduct (http://publicationethics.org/files/u2/New_Code.pdf). To verify originality, your article may be checked by the originality detection service Cross Check <http://www.elsevier.com/editors/plagdetect>.

The authors are obliged to participate in peer review process and be ready to provide corrections, clarifications, retractions and apologies when needed. All authors of a paper should have significantly contributed to the research.

The reviewers should provide objective judgments and should point out relevant published works which are not yet cited. Reviewed articles should be treated confidentially. The reviewers will be chosen in such a way that there is no conflict of interests with respect to the research, the authors and/or the research funders.

The editors have complete responsibility and authority to reject or accept a paper, and they will only accept a paper when reasonably certain. They will preserve anonymity of reviewers and promote publication of corrections, clarifications, retractions and apologies when needed. The acceptance of a paper automatically implies the copyright transfer to the National Academy of sciences of the Republic of Kazakhstan.

The Editorial Board of the National Academy of sciences of the Republic of Kazakhstan will monitor and safeguard publishing ethics.

Правила оформления статьи для публикации в журнале смотреть на сайте:

[www:nauka-nanrk.kz](http://www.nauka-nanrk.kz)

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

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

Подписано в печать 15.06.2024.

Формат 60x88^{1/8}. Бумага офсетная. Печать - ризограф.

19,0 п.л. Тираж 300. Заказ 2.