

**МИНИСТЕРСТВО ПРОМЫШЛЕННОСТИ И СТРОИТЕЛЬСТВА  
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН**

**КОМИТЕТ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

**НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР ПО КОМПЛЕКСНОЙ ПЕРЕРАБОТКЕ  
МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН**

**Материалы**

**V Международной научно-практической конференции**

**Абишевские чтения – 2026**

**«Интеграция современной науки, цифровых технологий,  
искусственного интеллекта и промышленного производства в  
горно-металлургическом комплексе Республики Казахстан»,  
посвящённой**

**90-летию со дня рождения академика, основателя и первого  
руководителя Национального центра по комплексной  
переработке минерального сырья Республики Казахстан**

**Ж.Н. Абишева**

Алматы, 2026

**УДК 001  
ББК 72  
И73**

Редакционная коллегия:

Айткулов Д.К., Абишев Ж.Ж., Байсанов С.О., Лу Н.Ю., Капсаламова Ф.Р.

**И73** **Интеграция современной науки, цифровых технологий, искусственного интеллекта и промышленного производства в горно-металлургическом комплексе Республики Казахстан: материалы V Международной научно-практической конференции Абишевские чтения – 2026. – Алматы: НЦКПМС РК, 2026. – 308 с.**

**ISBN 978-601-08-5898-5**

В сборник включены приветственные слова, а также выступления и доклады участников пленарного и секционных заседаний V Международной научно-практической конференции «Абишевские чтения – 2026» на тему: «Интеграция современной науки, цифровых технологий, искусственного интеллекта и промышленного производства в горно-металлургическом комплексе Республики Казахстан», посвящённой 90-летию со дня рождения академика, основателя и первого руководителя Национального центра по комплексной переработке минерального сырья Республики Казахстан Ж.Н. Абишева.

В материалах сборника отражены результаты фундаментальных и прикладных исследований, направленных на развитие перспективных технологий в горно-металлургическом комплексе, создание и внедрение новых материалов, совершенствование процессов обогащения и переработки минерального сырья, а также на решение задач цифровизации и применения искусственного интеллекта в промышленном производстве.

Сборник предназначен для научных работников и специалистов в области геологии, горного дела, обогащения полезных ископаемых, металлургии и технологии новых материалов.

**УДК 001  
ББК 72**

**ISBN 978-601-08-5898-5**

**© РГП «НЦКПМС РК», 2026**

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>Приветственные слова</b>	<b>10</b>
<b>Нагаспаев Ерсайын Каиргазиевич, Министр промышленности и строительства Республики Казахстан</b>	<b>11</b>
<b>Кошербаев Ермек Беделбаевич, Министр иностранных дел Республики Казахстан</b>	<b>13</b>
<b>Сауранбаев Нурлан Ермакович, Министр транспорта Республики Казахстан</b>	<b>14</b>
<b>Нурғалиев Аскар Каиртаевич, Генеральный директор РГП «НЦ КПМС РК»</b>	<b>15</b>
<b>Рау Альберт Павлович, Заместитель Председателя Мажилиса Парламента Республики Казахстан</b>	<b>17</b>
<b>Акчулаков Болат Уралович, Председатель Ассоциации инвесторов Республики Казахстан</b>	<b>18</b>
<b>Радостовец Николай Владимирович, Исполнительный директор Республиканской ассоциации горнодобывающих и горно-металлургических предприятий Республики Казахстан, д.э.н.</b>	<b>19</b>
<b>Даутов Айбар Леонидович, Председатель правления Ассоциации «Тау-Кен Казахстан»</b>	<b>21</b>
<b>Басин Вадим Борисович, Генеральный директор АО «Qarmet», Герой Труда Казахстана</b>	<b>22</b>
<b>Сосковец Олег Николаевич, Генеральный директор Карметкомбината (1988 - 1991 гг.), Министр металлургии СССР (1991 г.), Первый заместитель премьер-министра – министра промышленности Республики Казахстан (1992 г.), Первый заместитель председателя правительства Российской Федерации (1993 - 1996 гг.)</b>	<b>23</b>
<b>Максимов Исаак Исорович, Директор по научной работе ЗАО «Механобр Инжиниринг» (г. Санкт-Петербург), д.т.н., профессор</b>	<b>24</b>
<b>Әдекенов Серғазы Мыңжасарұлы, «Фитохимия» ғылыми-өндірістік Орталығы басқарма төрағасы, ғылымдарының докторы, профессор</b>	<b>25</b>
<b>Журинов Мурат Журинович, академик</b>	<b>27</b>
<b>Бектурганов Нуралы Султанович, академик</b>	<b>29</b>
<b>Сулейменов Олжас Омарович, Поэт и Народный писатель Республики Казахстан</b>	<b>30</b>
<b>Набиев Марат Аскенович, Генеральный директор ТОО «Он-Олжа»</b>	<b>31</b>
<b>Аубакиров Токтар Онгарбаевич, Народный Герой Казахстана, Герой Советского Союза</b>	<b>32</b>
<b>Школьник Владимир Сергеевич, доктор физико-математических наук, Президент Ассоциации «Ядерное общество Казахстана»,</b>	<b>33</b>
<b>Кожаметов Султанбек Мырзахметович, Президент ТОО «ЕНТЦ «Металлы и материалы», академик</b>	<b>34</b>
<b>Садыков Еркин Токмухамедович, Генеральный директор Института экономики Комитета науки Министерства науки и высшего образования РК, д.э.н., профессор</b>	<b>35</b>

<b>Кенжалиев Бағдаулет Кенжәлиұлы, «МжКБИ» АҚ бас директоры, ҚР еңбек сіңірген қайраткері, техника ғылымдарының докторы, профессор</b>	37
<b>Сагинтаева Сауле Саветовна, Член Правления – Ректор Карагандинского технического университета имени Абылкаса Сагинова, д.э.н., профессор</b>	39
<b>Күнсұлу Закарья, Қазақстан Республикасы Әл-Фараби атындағы ғылым және техника саласындағы мемлекеттік сыйлығының лауреаты, биология ғылымдарының докторы, профессор</b>	41
<b>Пленарная секция</b>	<b>43</b>
<b>Роль Ж.Н. Абишева в развитии науки для ГМК</b> <i>Байсанов С.О.</i>	44
<b>Роль Ж.Н. Абишева в развитии отрасли ГМК</b> <i>Радостовец Н.В.</i>	47
<b>Развитие современных технологий переработки золотосодержащих руд</b> <i>Болотова Л.С., Суримбаев Б.Н.</i>	49
<b>Инновационные технологии в горно-металлургическом комплексе: развитие цифровизации и автоматизации управления процессами</b> <i>Муханов Т.М.</i>	52
<b>Наследие академика Ж.Н. Абишева в XXI веке</b> <i>Абишев Ж.Ж.</i>	56
<b>Секция 1. ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В МЕТАЛЛУРГИИ</b>	<b>60</b>
<b>Исследование возможности селективного твёрдофазного восстановления никеля и железа из трудноперерабатываемых окисленных никелевых руд водородом</b> <i>Абілберкіова А.А., Есенғалиев Д.А., Адилов Г.А., Бензесик К.</i>	61
<b>Изучение процесса нагрева хромового сырья и смеси с восстановителями</b> <i>Ақуов А.М., Байсанов А.С., Мусина И.Б., Байсанова А.М., Абдулабеков Е.Э., Алмагамбетов М.С., Келаманов Б.С.</i>	64
<b>Обзор методов десорбции золота из насыщенных анионитов</b> <i>Алтынбек Ш.Ч.</i>	68
<b>Подбор связующего для окомкования кека серноокислотного выщелачивания ванадиевых кварцитов</b> <i>Бадикова А.Д., Шевко В.М., Айтқулов Д.К.</i>	70
<b>Актуальные разработки «Казмеханобра» по переработке руд цветных металлов за последние годы</b> <i>Бейсембаев Э.Б., Ли Э.М., Смайлова А.Б.</i>	77
<b>Особенности разработки технологии переработки сульфидной золото-молибденово-медной руды</b> <i>Бейсембаев Э.Б., Ли Э.М., Смайлова А.Б., Сатбекова Г.Ж.</i>	82
<b>Технологическая платформа переработки минерального сырья</b> <i>Бектай Е.К., Байбатша А.Б., Дуйсебаев Б.О., Турысбекова Г.С., Бектаев М.Е., Шидерин Б.Н.</i>	87
<b>Получение сподуменового концентрата из пегматитовых руд Казахстана</b> <i>Бердиқулова Ф.А., Жумақынбай Н., Мендеке М.А.</i>	91

<b>Қиын байытылатын тотыққан мыс кендерін электрохимиялық әдіспен сульфидтеу</b> <i>Доспаев М.М., Баешев А.Б., <u>Абишев Ж.Н.</u>, Фигуринене И.В., Джашибекова А.Н., Базарова А.М.</i>	94
<b>Инновация мирового уровня – отработка вольфрамовых руд Казахстана методом подземного выщелачивания</b> <i>Дуйсебаев Б.О.</i>	95
<b>Обзор методов выщелачивания золота с использованием различных реагентов</b> <i>Жұмабай Ш.Е.</i>	96
<b>Получение чистого метаванадата аммония из техногенного ванадийсодержащего сырья</b> <i>Жумақынбай Н., Бердикулова Ф.А., Өндіріс Б.Ф.</i>	99
<b>Минералого-технологические особенности вещественного состава сульфидной медной руды месторождения хаджиконган как фактор, определяющий эффективность флотационного обогащения</b> <i>Жунусов Е.М., Каткеева Г.Л.</i>	102
<b>Горностаев кен орнының тотыққан магнезиялық-темірлі никель кендерін гидрометаллургиялық өңдеу</b> <i>Қали А.Ә., Шаяхметова Р.А., Молдабаева Г.Ж.</i>	104
<b>Проблемы и перспективы вовлечения хвостов балхашской обогатительной фабрики в переработку в условиях дефицита сырьевой базы балхашского региона</b> <i>Кожабеков Б.Б., Каткеева Г.Л.</i>	106
<b>Применение углеродных сорбентов из техногенного и минерального сырья для очистки технологических ренийсодержащих растворов от органических примесей и извлечения рения</b> <i>Кабланбеков А.А., Ефремова С.В.</i>	108
<b>Применение анионообменных смол для удаления меди из цианистых растворов</b> <i>Каналы Е.С.</i>	110
<b>Латеритті никель кендерін гидрометаллургиялық әдістермен қайта өңдеудің негізгі бағыттары</b> <i>Куандыкова А.Н., Мамырбаева К.К.</i>	113
<b>Получение марганцевых продуктов из техногенных минеральных образований</b> <i>Макашев А.С., Атахан М.М., Дюсекеев Ж.Б., Куркин А.А., Мухтар А.А., Касымова Б.К., Сембекова А.Т.</i>	116
<b>Изучение процесса получения железорудного концентрата из техногенных образований</b> <i>Макашев А.С., Атахан М.М., Мұтал Ж.С., Мухтар А.А., Касымова Б.К., Сембекова А.Т.</i>	119
<b>Адаптация вероятностной модели измельчения к лабораторным условиям на примере речного песка</b> <i>Малышев В.П., Макашева А.М.</i>	123
<b>Современные способы получения диоксида титана</b> <i>Найманбаев М. А., Малдыбаев Г. К.</i>	126

<b>Анализ особенностей процесса кучного выщелачивания золота из окисленных руд месторождения «Васильевское» в условиях низких температур</b> <i>Ниязов А.А., Бейсембаев Э.Б., Тлеулинов Б.А., Асылбеков А.Н.</i>	132
<b>Выделение железа из продуктивных растворов выщелачивания руд белогорского месторождения</b> <i>Осипов П.А., Шаяхметова Р.А.</i>	136
<b>Әр түрлі көміртекті тотықсыздандырғыштарды қолдана отырып хром шикізатын алдын ала тотықсыздандыру</b> <i>Сәулебек Ж.Қ., Махамбетов Е.Н., Исагулов А.З., Онурапп Ю., Смагулов А.</i>	138
<b>Эффективные технологии переработки хромового сырья Казахстана</b> <i>Сариев О.Р.</i>	143
<b>Новый метод идентификации веществ методами магнитного резонанса в магнитном поле земли</b> <i>Хасен Б.</i>	145
<b>Технологические исследования по определению возможности обогащения бериллиевой руды месторождения Караджал</b> <i>Хлебникова И.А., Кылышканов М.К., Подойников М.А., Шестаков К.А.</i>	150
<b>Обзор методов интенсификации процесса цианирования золота на основе органических добавок</b> <i>Хумарбекұлы Е.</i>	152
<b>Технологические особенности и вещественный состав окисленной медной руды месторождения Хаджиконган</b> <i>Шәйке Ж.А., Каткеева Г.Л.</i>	155
<b>Определение кинетических закономерностей выщелачивания никеля из окисленных никельсодержащих магнезиальных руд</b> <i>Шаяхметова Р.А., Мухаметжанова А.А., Қали А.Ә., Куандыкова А.Н., Сахова Б.Т.</i>	157
<b>Оптимизация технологических параметров процесса вскрытия окисленных никельсодержащих магнезиальных руд</b> <i>Шаяхметова Р.А., Сағындыков А.Б., Осипов П.А., Кәли А.Ә.</i>	160
<b>Комплексное использование остатков дистилляции возгонов отэлектроплавки полиметаллического сырья для извлечения магния и свинца</b> <i>Шаяхметова Р.А., Сахова Б.Т., Мухаметжанова А.А., Ақильбекова Ш.К., Шварук А.В.</i>	164
<b>Секция 2. МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ: ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ И ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ, СПЛАВОВ И КОМПОЗИЦИОННЫХ СИСТЕМ</b>	<b>168</b>
<b>Silicon carbide: a review of synthesis methods, properties, applications</b> <i>Burumbayev A., Sadyk Zh., Makisheva Zh., Temirbayeva E.</i>	169
<b>Investigation of the electrical resistivity of coal sludge for use in producing Fe-Cr-Mn-Si complex alloys</b> <i>Zhakan A., Sadyk Zh.</i>	174
<b>Получение кремнистого сплава из смеси окисленной руды шалкия и хвостов обогащения сульфидной руды этого месторождения</b> <i>Айтқулов Д.К., Шевко В.М., Маханбетова Б.А.</i>	178

<b>Опыт выплавки передельного ферросиликомарганца и марганцевой лигатуры с использованием брикетированной моношихты полученной обжигмагнитным способом из железомарганцевой руды</b> <i>Байсанов А.С., Акуов А.М., Сиргатаева Г.Е., Воробкало Н.Р., Султангазиев Р.Б., Жумагалиев Т.Ж.</i>	182
<b>Результаты моделирования карботермической выплавки ферросплава с титаном</b> <i>Воробкало Н.Р., Байсанов А.С., Шариева С.С., Жаксанов Н.Б., Макишев А.К.</i>	185
<b>Исследование влияния наномодификаторов на свойства легированных сталей</b> <i>Исагулов А.З., Квон Св.С., Куликов В.Ю.</i>	189
<b>Влияние органического продукта пиролиза рисовой шелухи на флотацию золотосодержащего сырья</b> <i>Қаналы Т.С., Есенгараев Е.К., Ражан Е.Б.</i>	191
<b>Исследование влияния радиационного воздействия на микротвердость сплава на основе железа</b> <i>Қанжігіт Г.А., Капсаламова Ф.Р.</i>	194
<b>Хром-марганец лигатурасын балқыту үшін тотықсыздандырғыш ретінде қолданылатын фсх шаңын брикеттеу технологиясы</b> <i>Кабылканов С.К., Садық Ж.О.</i>	196
<b>Исследование термодинамических и электрофизических свойств <math>LaMgCuVMnO_{7.5}</math></b> <i>Касенов Б.К., Касенова Ш.Б., Сагинтаева Ж.И., Куанышбеков Е.Е., Турдиев М.Т.</i>	201
<b>Калориметрическое и электрофизическое исследование никелито-манганита неодим кальция</b> <i>Касенов Б.К., Касенова Ш.Б., Сагинтаева Ж.И., Куанышбеков Е.Е., Турдиев М.Т.</i>	207
<b>Разработка технологии выплавки комплексного сплава АХС (алюминий-хром-кремний)</b> <i>Мусина И.Б., Акуов А.М., Избембетов Д.Д., Байсанов А.С., Воробкало Н.Р., Байсанова А.М.</i>	210
<b>Исследование кинетики и условий выщелачивания хризотил-асбестовых отходов</b> <i>Мухаметжанова А.А., Шаяхметова Р.А., Рахым А.Б.</i>	214
<b>Исследование особенностей горения низкосортных углей при слоевом сжигании</b> <i>Мырзалиева С.К., Акильбекова Ш.К., Кабланбеков А.А., Ермишин С.В., Серикбаев П.К.</i>	218
<b>Исследование физико-химических характеристик угольных смесей с растительной биомассой на основе кукурузных отходов</b> <i>Мырзалиева С.К., Ефремова С.В., Акильбекова Ш.К., Ермишин С.В., Серикбаев П.К.</i>	222
<b>Разработка технологической схемы получения нового противовирусного средства гинказон</b> <i>Нуркенов О.А., Фазылов С.Д., Мендибаева А.Ж., Кабиева С.К., Жаутикова С.Б., Сыздыков А.К., Ахметкалиев С.Ж.</i>	225
<b>Наноэффекты в жидкофазных сплавах Co-La</b> <i>Осипов П.А., Шаяхметова Р.А., Сагындыков А.Б.</i>	226
<b>Классификация микроструктур как методологическая основа количественной металлографии</b> <i>Пережогин В.Ю.</i>	229

<b>Жидкостные методы получения оптических наноматериалов</b> <i>Сағындықов А.Б., Осипов П.А.</i>	231
<b>Разработка составов функциональных огнеупорных материалов</b> <i>Сатбаев Б.Н., Кокетаев А.И., Шалабаев Н.Т., Сатбаев А.Б., Рыскалиева Ж.Н., Ильясова Г.Х.</i>	234
<b>Разработка огнеупорных материалов для футеровок высокоагрессивных зон металлургических агрегатов</b> <i>Сатбаев Б.Н., Кокетаев А.И., Шалабаев Н.Т., Сатбаев А.Б., Рыскалиева Ж.Н., Ильясова Г.Х.</i>	237
<b>Ti-Al-Mo-V-Zr жүйесіндегі фазалық тепе-теңдік пен <math>\beta</math>- аумағының шектеріне Zr қоспасының әсері</b> <i>Сахова Б.Т., Алимжанова А.М., Койшина Г.М.</i>	239
<b>Влияние карбида титана и вибрации на износостойкость и микроструктуру литой легированной стали</b> <i>Скворцов Е.В., Исагулов А.З.</i>	242
<b>Комплексная переработка рисовой шелухи с получением новых полифункциональных материалов</b> <i>Сухарников Ю.И., Джусупов С.А., Ефремова С.В., Кабланбеков А.А.</i>	244
<b>Феррохромды пайдалана отырып коррозияға төзімді болаттың ұнтақ қоспасын әзірлеу</b> <i>Төлеуқадыр Р.Т., Ахметов А.С., Жунусов А.К., Заякин О.В., Махамбетов Е.Н., Аяганова Ж.Т.</i>	248
<b>Термодинамический анализ структуры расплава на основе поведения коэффициента Бьеррума-Гуггенгейма в системе Fe-Si-Al-Ca-Mg-Zn-Pb</b> <i>Толоконникова В.В., Байсанов С., Корсукова И.Я., Нарикбаева Г.И.</i>	251
<b>Влияние бинарного катализатора (Cofe) на кинетику термической деструкции нефтешлама (Атасу-Алашанькоу)</b> <i>Тянах С., Малин Г., Бүтінші А.Б.</i>	257
<b>Получение сорбентов из золошлаковых отходов ТЭЦ</b> <i>Шварук А.В., Осипов П.А., Шаяхметова Р.А.</i>	260
<b>Оценка влияния температуры на максимальное насыщение органической фазы и показателя отстаивания в процессах L-SX-EW</b> <i>Якушев Н.Е.</i>	262
<b>Секция 3. ИННОВАЦИИ В ГОРНОМ ДЕЛЕ, ЦИФРОВИЗАЦИЯ И ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ В ГКМ</b>	266
<b>Development of environmentally safe and hypoallergenic dyeing technology for textile materials using digital optimization methods</b> <i>Karzhaubay A.A., Dyussenbiyeva K. Zh.</i>	267
<b>Geomechanical-geochemical factors of hydrogen occurrence at Donskoy GOK and research tasks</b> <i>Sadyk Zh., Matayev A.</i>	269
<b>Исследование динамики выделения выхлопных газов самоходных машин с двигателями внутреннего сгорания при работе в шахте</b> <i>Ананин И.А., Тунгушбаева З.К.</i>	273
<b>Поэтапное проектирование базы данных для ГНСС мониторинга</b> <i>Бимурат Ж., Махметова Г.Н.</i>	275

<b>Совершенствование геотехнологических комплексов карьеров на основе проектных управленческих решений и цифровых технологий</b> <i>Бояндинова А.А., Адилханова Ж.А.</i>	278
<b>Оценка рисков незаложенных выработанных пространств при системах разработки с закладкой на инфраструктуру рудника</b> <i>Гайнулин А.Б., Ананин А.И.</i>	280
<b>Интеграция технологий умных касок в цифровой двойник горнотехнической системы как механизм совершенствования государственного управления недропользованием</b> <i>Галиев Д.А., Абилханов С.С.</i>	282
<b>О развертывании в университетах Казахстана инновационной сети нового типа – внеструктурных автономных единиц «Научные штурмовые роты»</b> <i>Дуйсебаев Б.О.</i>	285
<b>Эффективность использования нейронной сети Yolov8 при определении уровня фрактальности пористой поверхности</b> <i>Жапаков Р.М., Жайсанбаев Ж.К., Мурзалинов Д.О.</i>	288
<b>Метод пробоподготовки геологических образцов с использованием смеси сульфата и бифторида аммония</b> <i>Медков М.А., Зарубина Н.В., Молчанов В.П., Иванников С.И., Дмитриева Е.Э.</i>	291
<b>Автоматизированное формирование операционных правил управления технологическим процессом коксования для получения металлургического кокса заданного качества</b> <i>Некрасов И.С., Бухтояров В.В., Городов А.А., Тынченко В.С.</i>	297
<b>Интеграция искусственного интеллекта в процессы предприятий горно-металлургического комплекса</b> <i>Сарбасова А.Э.</i>	300
<b>Цифровые технологии в решении вопросов повышения экологической эффективности геотехнологических комплексов на открытых разработках</b> <i>Текенова А.Т., Галиев С.Ж., Утешов Е.Т., Галиев Д.А.</i>	302

# **Приветственные слова**

*Уважаемые участники  
Конференции!*



От имени Министерства промышленности и строительства Республики Казахстан приветствую участников и гостей V Международной научно-практической конференции «Абишевские чтения - 2026», посвященной 90-летию со дня рождения выдающегося ученого, академика Жанторе Нурлановича Абишева.

Имя Жанторе Нурлановича занимает особое место в истории отечественной науки и горно-металлургической отрасли. Его научные труды заложили фундаментальные основы технологий комплексной переработки минерального и техногенного сырья, развития ресурсосберегающих и малоотходных производств. Многие разработанные под его руководством научные решения нашли практическое применение и способствовали укреплению промышленного потенциала Казахстана.

Особой страницей его деятельности стало создание Национального центра по комплексной переработке минерального сырья Республики Казахстан, основателем и первым руководителем которого он являлся. Благодаря его стратегическому видению и научному лидерству были сформированы ключевые направления исследований, направленные на эффективное использование минерально-сырьевых ресурсов страны.

Сегодня развитие горно-металлургического комплекса, внедрение современных технологий переработки сырья, повышение глубины и комплексности извлечения полезных компонентов остаются важнейшими задачами промышленной политики Казахстана. В этом контексте научное наследие академика Ж.Н. Абишева продолжает служить прочной основой для дальнейшего развития отрасли.

Уверен, что конференция станет важной площадкой для обсуждения современных научных достижений, обмена опытом между учеными и специалистами, а также для выработки новых решений, направленных на развитие горно-металлургического комплекса.

Желаю участникам конференции плодотворной работы, интересных научных дискуссий, новых профессиональных контактов и успешной реализации совместных научных и технологических проектов.

Благодарю организаторов за вклад в сохранение и развитие научных традиций, заложенных академиком Жанторе Нурлановичем Абишевым.

Желаю всем участникам конференции успехов и новых достижений во благо развития науки и промышленности Республики Казахстан.

***Министр промышленности  
и строительства  
Республики Казахстан***



***Е.К. Нагаспаев***

### ***Құрметті конференцияға қатысушылар!***

Дәстүрлі «Әбішев оқулары – 2026» іс-шарасына қош келдіңіздер. Бүгінгі алқалы басқосу тек қазақстандық мамандарды ғана емес, халықаралық серіктестерді де жинап отырғаны ерекше қуанышты жайт. Бұл отандық ғылымның ашық диалогқа және бірлесе дамуға есігі әрдайым айқара ашық екенін айғақтайды.



Конференция металлургия және химия ғылымы мен өндірісін дамытуға өлшеусіз үлес қосқан көрнекті ғалым Жантөре Әбішевтің құрметіне ұйымдастырылып отыр. Дарынды ғалым көзі тірісінде тау-кен саласының ғылыми негізін қалауда елеулі еңбек сіңірді. Ол саналы ғұмырында шикізатты кешенді өңдеу ісімен тыңғылықты айналысты және ғылыми идеялардың іс жүзінде қолданылуына барынша күш-жігерін салды. Зерттеушінің осы озық ғылыми тәсілдері бүгінгі таңда да өзінің өзектілігін жойған жоқ.

Қазіргі таңда біз цифрлық дәуірде, яғни жасанды интеллект өнеркәсіптің ажырамас бөлігіне айналған белсенді технологиялық өзгерістер кезеңінде өмір сүріп жатырмыз. Мұндай жағдайда ғылым мен өндірістің арасындағы өзара байланысты сақтаудың әрі өрістетудің маңызы зор.

Осы ретте тау-кен және металлургия кешені Қазақстан экономикасында және біздің сыртқы экономикалық байланыстарымызда ерекше рөл атқарады. Сондықтан халықаралық ынтымақтастықты дамыту, тәжірибе алмасу және инвестиция тарту біздің негізгі басымдықтарымыз болып қала береді.

Сыртқы істер министрлігі өз тарапынан осы өзара іс-қимылды жандандыруға қолдау көрсете береді, сондай-ақ серіктестік қарым-қатынастарға серпін беруге және ғылыми-техникалық ынтымақтастықты кеңейтуге ықпал етеді.

Бүгінгі конференция тың идеялармен өзара алмасу және іс жүзіндегі шешімдерді табу үшін тиімді платформа болатынына кәміл сенімдімін.

Барлық қатысушыларға сәттілік, жұмыстарына табыс тілеймін!

***Құрметпен,***

***Қазақстан Республикасының  
сыртқы істер министрі***

***Е. Көшербаев***

*Уважаемые участники!*



Приветствую вас на V Международной научно-практической конференции «Абишевские чтения – 2026», посвященной интеграции современной науки, цифровых технологий и искусственного интеллекта в развитие горно-металлургического комплекса.

Горно-металлургическая отрасль является одним из ключевых драйверов экономики Казахстана. Как один из наиболее грузоёмких секторов, она в значительной степени зависит от надёжной транспортно-логистической инфраструктуры. Министерство транспорта реализует системные меры по развитию транспортных коридоров и логистики, направленные на укрепление транзитного потенциала страны и обеспечение стабильных грузопотоков для всех отраслей экономики, включая горно-металлургический комплекс.

В условиях цифровой трансформации приоритетными направлениями становятся внедрение искусственного интеллекта в управление транспортными коридорами, прогнозирование объёмов перевозок, автоматизация терминалов и развитие мультимодальных решений, что напрямую повышает эффективность всей цепочки поставок.

Жанторе Нурланович Абишев подчёркивал важность системного подхода к производственным процессам и их взаимосвязи с транспортной отраслью.

Министерство транспорта Республики Казахстан открыто к взаимодействию с научным сообществом и готово учитывать предложения участников при формировании отраслевых приоритетов.

Желаю всем участникам конференции плодотворной работы, конструктивных дискуссий и практических решений, которые укрепят потенциал горно-металлургического комплекса Казахстана и повысят его глобальную конкурентоспособность.

*Министр транспорта  
Республики Казахстан*

A handwritten signature in purple ink, which appears to be 'Саур' (Saur), likely a stylized or abbreviated version of the name N. E. Sauranbaev.

*Н.Е. Сауранбаев*



### *Уважаемые делегаты и гости*

***V Международной научно-практической конференции «Абишевские чтения – 2026: Интеграция современной науки, цифровых технологий, искусственного интеллекта и промышленного производства в горно-металлургическом комплексе Республики Казахстан»!***

*Дорогие коллеги!*

От имени Организационного комитета и Национального центра по комплексной переработке минерального сырья Республики Казахстан я рад приветствовать Вас на площадке научного собрания, посвященного 90-летнему юбилею академика Жанторе Нурлановича Абишева, основателя и первого Генерального директора нашей организации, лауреата Государственной премии Республики Казахстан!

Проводимая в стенах РГП «НЦКПМС РК» конференция – это дань памяти и уважения известному ученому, научной мысли которого принадлежит идея комплексной переработки минерального и техногенного сырья. Академик Ж.Н. Абишев не просто прародитель идеи, которая сегодня уверенно набирает обороты актуальности. Это ученый, из-под пера которого вышли теоретические основы комбинированных химико-металлургических процессов комплексной переработки сырьевых ресурсов. С позиции приоритетов развития экономики сегодняшнего дня и роли науки в этом направлении Жанторе Нурлановича Абишева объективно можно охарактеризовать как человека, смотрящего сквозь время. Он работал на стыке разных областей науки, что сегодня называется междисциплинарностью, создавая замкнутые малоотходные материальные циклы горно-металлургических производств. Связь науки с производством – еще один ориентир, на который нацеливал научное сообщество академик Абишев. При этом из его биографии следует четкое понимание необходимости и важности сильной академической науки. Как результат, с именем академика Жанторе Абишева неразрывно связано становление академической науки в Центральном Казахстане.

Итак, сильная фундаментальная наука, междисциплинарный подход в исследованиях, нацеленность прикладной науки на запросы экономики, комплексная переработка сырья на основе безотходных технологий – это не только кредо ученого Жанторе Нурлановича Абишева. Это постулаты, на базе которых формируется пространственно-временная связь и преемственность разных поколений для эффективного ответа на современные вызовы.

Я горжусь, что имею возможность возглавлять коллектив с традициями, заложенными выдающейся Личностью и Ученым, покоровшим своими знаниями и передовыми научными взглядами многочисленные аудитории слушателей на конгрессах и симпозиумах в разных странах. Будем соответствовать высоко поставленной планке организации, создающей научный продукт для обеспечения устойчивого развития горно-металлургической отрасли.

Всем участникам Конференции желаю плодотворной работы, новых креативных идей и больших достижений на профессиональном поприще!

*Генеральный директор  
РГП «НЦ КИМС РК»*



*А. Нургалиев*



*Уважаемые коллеги!*

V Международная научно-практическая конференция «Абишевские чтения – 2026» проходит в период конституционного обновления страны, что подчёркивает стратегическую роль науки и промышленности в новой модели развития государства.

Горно-металлургический комплекс является системообразующей отраслью экономики. Парламент Республики Казахстан последовательно поддерживает законодательные инициативы, направленные на стимулирование инноваций, развитие недропользования и повышение глубины переработки сырья.

Академик Жанторе Нурланович Абишев являлся учёным, опередившим своё время. Его концепция комплексной переработки минерального сырья и системный подход к организации научных исследований заложили основу для формирования конкурентоспособной отраслевой модели. Его личные качества – требовательность к научной достоверности, умение объединять коллективы и стратегическое видение – остаются актуальными и сегодня.

Национальный центр по комплексной переработке минерального сырья Республики Казахстан продолжает выполнять миссию научного сопровождения ГК. Уверен, что результаты Конференции будут востребованы в законодательной практике.

***Заместитель Председателя  
Мажилиса Парламента  
Республики Казахстан***

A handwritten signature in purple ink, appearing to read 'A. P. Rau'. The signature is stylized and fluid, with a long horizontal stroke at the end.

***A. П. Рау***



### *Уважаемые коллеги!*

V Международная научно-практическая конференция «Абишевские чтения – 2026» посвящена обсуждению актуальных вопросов развития горно-металлургической отрасли, науки и инноваций в условиях современной технологической трансформации. Проведение подобных научных форумов позволяет объединить усилия ученых, представителей бизнеса и государственных институтов для выработки эффективных решений, направленных на устойчивое развитие отрасли.

Сегодня горно-металлургический комплекс становится одной из ключевых площадок внедрения передовых технологий — цифровизации производственных процессов, автоматизированных систем управления и решений на основе искусственного интеллекта. В этих условиях инвестиционная привлекательность отрасли во многом определяется уровнем её технологической зрелости, инновационного потенциала и готовности к модернизации.

Академик Жанторе Нурланович Абишев оставил значительное научное и организационное наследие. Его деятельность стала ярким примером эффективной интеграции фундаментальной науки, прикладных исследований и промышленного производства, что во многом способствовало развитию отечественной горно-металлургической школы.

Национальный центр по комплексной переработке минерального сырья Республики Казахстан сегодня выступает важной площадкой для взаимодействия науки, бизнеса и инвестиционного сообщества. Уверен, что результаты Конференции будут способствовать появлению новых научных инициатив, формированию перспективных инвестиционных проектов и укреплению технологического потенциала горно-металлургического комплекса Республики Казахстан.

Желаю участникам Конференции плодотворной работы, научной глубины, содержательных дискуссий и дальнейшего укрепления международного сотрудничества в интересах развития горно-металлургической науки и промышленности.

***Председатель  
Ассоциации инвесторов  
Республики Казахстан***



***Б.У. Акчулаков***

## Күрметті конференция қатысушылары!



Республикалық тау-кен және тау-кен металлургия кәсіпорындары қауымдастығының атынан көрнекті ғалым, академик Жантөре Нұрланұлы Әбішевтің туғанына 90 жыл толуына арналған конференцияға орай шын жүректен құттықтауымды қабыл алыңыздар.

Жантөре Нұрланұлының мерейтойы – бұл ғылыми қоғамдастық үшін ғана емес, бүкіл отандық тау-кен металлургия саласы үшін маңызды күн. Оның есімі Орталық Қазақстанның академиялық ғылымының қалыптасуы мен дамуымен, химия-металлургия институтының беделін нығайтумен, өнеркәсіптің маңызды міндеттерін шешуге бағытталған берік ғылыми мектептің қалыптасуымен тығыз байланысты.

Жантөре Нұрланұлы Әбішев минералды және техногендік шикізатты кешенді өңдеу мүддесінде тау-кен жетістіктерін, байыту, металлургия және химия жетістіктерін біріктіре білген кең ғылыми ой-өрістің ғалымы ретінде тарихқа енді. Оның іргелі және қолданбалы әзірлемелері төмен сұрыпты кендерді кешенді пайдаланудың, қалдықтары аз өндірістерді құрудың және тиімді химиялық-металлургиялық процестерді енгізудің технологиялық негізін қалады, олардың көпшілігі жоғары дәрежеде танылып, тәжірибеде сұранысқа ие болды. Оның мұрасында Лисаков кен орнының кедей фосфорлы темір кендерін өнеркәсіптік игеруге тарту жұмыстары ерекше орын алады. Бұл ғылыми-технологиялық кешенді іске асыру ауқымды оқиға болды және ғылым мен техника саласындағы КСРО Мемлекеттік сыйлығымен марапатталды.

Оның ғылымды ұйымдастырушы ретіндегі үлесі жоғары. Отыз жылдан астам уақыт бойы ол химия-металлургия институтында кіші ғылыми қызметкерден директорға дейін жұмыс істеді және оның ғылыми-ұйымдастырушылық қызметі ғылыми-зерттеу деңгейін арттыруға, институтты бүкілодақтық және аймақтық ғылыми форумдарды өткізудің беделді орталығына айналдыруға ықпал етті.

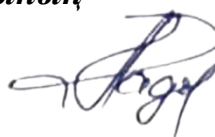
Академик Әбішевтің ғылыми мұрасы шынымен де қомақты: 300-ден астам ғылыми еңбек, 8 монография, 76 авторлық куәлік, 29 шетелдік патент, оның ісін жалғастыратын оқушылар мен ізбасарлар. Сонымен қатар, жеке

басының адами қасиеттері де маңызды: жоғары мәдениеттілік, таңдаған ісіне берілгендік, эрудицияның кеңдігі, тәлімгерлік және отандық ғылымға шынайы қызмет ету.

Конференцияның барлық қатысушыларына жемісті жұмыс, мазмұнды пікірталастар, жаңа ғылыми идеялар және Жантөре Нұрланұлы Әбішевтің үздік дәстүрлерін табысты жалғастыруын тілеймін.

*Құрметпен,*

*Тау-кен өндіру және  
тау-кен металлургия кәсіпорындарының  
республикалық қауымдастығының  
Атқарушы директоры*



*Н.В. Радостовец*

**Уважаемые участники  
V Международной научно-практической  
конференции «Абишевские чтения – 2026»!**



Малый и средний бизнес играет значимую роль в формировании инновационной среды горно-металлургического комплекса, является важным партнером научных предприятий и организаций страны.

В условиях обновления конституционных основ государства создаются дополнительные стимулы для предпринимательства и развития научных и технологических компаний.

Академик Жанторе Нурланович Абишев продемонстрировал пример организации практико-ориентированной науки, способной обеспечивать эффективные производственные решения.

Национальный центр по комплексной переработке минерального сырья Республики Казахстан может стать эффективной площадкой кооперации научных коллективов и предприятий МСБ в сфере ГМК. Желаю участникам Конференции развития новых партнёрских проектов!

***Председатель правления  
Ассоциации «Тау-Кен Казахстан»***

***А.Л. Даутов***



*Уважаемые участники  
V Международной научно-практической  
конференции «Абишевские чтения – 2026»!*

Проведение Конференции в период обсуждения проекта новой редакции Конституции Республики Казахстан и проведения референдума 15 марта 2026 года подчёркивает историческую значимость текущего этапа развития государства. В обновлённой конституционной модели особое внимание уделяется укреплению промышленного потенциала, технологической модернизации и развитию научной базы ключевых отраслей экономики.

Горно-металлургический комплекс является фундаментом индустриального развития страны. Для производственных предприятий интеграция науки и промышленности представляет собой необходимое условие повышения эффективности, экологичности и конкурентоспособности продукции на внутреннем и внешнем рынках.

Академик Ж.Н.Абишев продемонстрировал пример практико-ориентированной науки, результаты которой находили непосредственное применение в металлургическом производстве. Его научные разработки и организационная деятельность способствовали укреплению технологической самостоятельности отрасли. Высокий профессионализм, стратегическое мышление и личная ответственность Жанторе Нурлановича Абишева заслуживают глубокого уважения.

Национальный центр по комплексной переработке минерального сырья Республики Казахстан продолжает выполнять важную миссию по научному обеспечению предприятий ГМК, формируя решения, востребованные производством. Уверен, что работа Конференции станет дополнительным импульсом для дальнейшего развития взаимодействия науки и промышленности в интересах страны.

*Генеральный директор АО «Qarmet»,  
Герой Труда Казахстана*

*В.Б. Басин*

### *Уважаемые коллеги!*

Мне довелось тесно сотрудничать с Жанторе Нурлановичем Абишевым в период активного развития металлургического производства и модернизации Карагандинского металлургического комбината. Его научные разработки не оставались в рамках лабораторий и научных публикаций – они внедрялись в производственный процесс, обеспечивая конкретный технологический и экономический результат.



Жанторе Нурланович обладал редким сочетанием фундаментальной научной глубины и инженерной практичности. Он умел видеть производственную проблему в комплексе, предлагал решения, учитывающие как технологические, так и экономические аспекты. Его отличали принципиальность, ответственность и высокая требовательность к качеству научных и производственных решений.

Особое значение имело его стремление к комплексной переработке минерального сырья и рациональному использованию ресурсов, что обеспечивало расширение сырьевой базы и повышение эффективности металлургических процессов. Многие решения, реализованные в тот период, заложили основу для дальнейшего технологического развития отрасли.

Сегодня Национальный центр по комплексной переработке минерального сырья Республики Казахстан продолжает традиции, заложенные академиком Абишевым, обеспечивая научную поддержку предприятий ГК в новых экономических условиях. Уверен, что Конференция станет площадкой для конструктивного диалога науки и производства и будет способствовать дальнейшему укреплению технологического потенциала отрасли.

Желаю участникам плодотворной работы, профессиональной дискуссии и практических результатов, востребованных промышленностью!

***Генеральный директор Карметкомбината (1988 - 1991 гг.),  
Министр металлургии СССР (1991 г.),  
Первый заместитель премьер-министра –  
министра промышленности  
Республики Казахстан (1992 г.),  
Первый заместитель  
председателя правительства  
Российской Федерации (1993 - 1996 гг.)***

***О.Н.Сосковец***



*Уважаемые коллеги!*

Для коллектива института «Механобр», где в 1982 году Жанторе Нурланович Абишев успешно защитил докторскую диссертацию, его имя связано с высоким научным стандартом исследований в области обогащения полезных ископаемых и комплексной переработки минерального сырья.

Его докторская работа и последующие исследования получили широкое признание научного сообщества и способствовали развитию новых технологических подходов к переработке сложного и труднообогащаемого сырья. Жанторе Нурланович отличался фундаментальностью научного анализа, строгой аргументацией и стремлением к практической применимости результатов исследований.

Он активно участвовал в международных научных форумах, укрепляя сотрудничество между научными школами и способствуя обмену опытом. Его профессиональная культура, научная принципиальность и открытость к диалогу снискали ему заслуженный авторитет среди коллег.

Сегодня Национальный центр по комплексной переработке минерального сырья Республики Казахстан продолжает развивать научные направления, заложенные его основателем, и играет значимую роль в международном научном взаимодействии в сфере ГМК.

Желаю участникам Конференции содержательных научных дискуссий и укрепления межгосударственного сотрудничества в интересах развития горно-металлургической науки и промышленности.

*Директор по научной работе  
АО «Механобр Инжиниринг»  
(г. Санкт-Петербург), доктор  
технических наук, профессор*

*И.И. Максимов*

*Қадірлі*  
*«Академик Әбішев оқулары – 2026»*  
*V Халықаралық ғылыми-практикалық*  
*конференциясына қатысушылар!*



Сіздерді «Фитохимия» ғылыми-өндірістік орталығы және өз атымнан «Академик Әбішев оқулары – 2026» V Халықаралық ғылыми-практикалық конференциясының ашылуымен құттықтаймыз. Әбішев оқуларының химия-металлургия саласының дамуына қосатын үлесі аса зор деп білеміз.

Жантөре Нұрланұлы Әбішев өзінің саналы өмірінің әр кезеңдерінде – Химия-металлургия институтын, сонымен қатар еліміздің Ғылым академиясының Орталық Қазақстан бөлімшесін басқарған жылдарында Қарағандыда бірқатар ғылыми-зерттеу институттары ұйымдастырылып, өңіріміздегі ғылым жаңа қарқынмен жоғары деңгейде дамыды.

Осы жылдары Сары-Арқада Фитохимия институты шаңырақ көтеріп, кейіннен институт жанынан фармацевтикалық зауыт салынып, қанатын кеңінен жайып ғылыми-өндірістік орталыққа айналды.

Жантөре Нұрланұлы үшін ғылым да оның өзін ғана қызықтыратын жеке ұстанымы емес, елдің ертеңін айқындайтын, байлығын көбейтетін, болашағын көркейтетін саралы сала еді. Оның ғылыми шешімдері стратегиялық тереңдігімен ерекшеленетін. Академик Ж.Н. Әбішев жүргізген іргелі зерттеулердің өзі өндіріске икемділігімен ұштаса отырып, технологиямен тұрақты тұтастық табатын.

Жантөре ағамыздың адами қасиеттері де ғылыми жетістіктерінен кем түспейтін. Талапқор, бірақ түсіністікпен де қарай алатын; принципшіл, бірақ өзгенің де озық пікірін бағалай білетін және өзінің «ұлықтығын кішілікпен» жарастыра білген сұңғыла басшы болатын. Біздер үшін ағамыздың осындай зиялылығы ұлағаттың ұлы мектебіндей болды.

Бүгіндері өзі табалдырығын тұрғызған, алғаш шаңырағын көтерген Қазақстан Республикасының Минералдық шикізатты кешенді өңдеу бойынша Ұлттық орталықта академиктің өмірлік арманы – ғылым мен өнеркәсіпті тығыз байланыстыра отырып, тәуелсіз Қазақстанның экономикасын дамыту жолына елеулі үлесін қосып отыр.

Осы орайда, «Әбішев оқулары – 2026» жұмысы Қазақстан ғылымы мен өнеркәсібінің арасындағы байланысты нығайтып және оның өміршеңдігін әйгілей түсетін алаңға айналатынына сеніміміз зор. Конференцияға

қатысушылардың барлығына академик Жантөре Нұрланұлы Әбішевтің ұлағатты істерін жалғастыру жолындағы ғылыми бастамалар мен жетістіктер, технологиялық шешімдер мен табыстар және келелі кеңестер тілейміз.

*Құрметпен,*

*«Фитохимия» ғылыми-өндірістік  
Орталығы басқарма төрағасы,  
ғылымдарының докторы, профессор*



*Әдекенов С.М.*

*Уважаемые коллеги!*



Для меня участие в «Абишевских чтениях – 2026» – это не только значимое научное событие, но и личная возможность вновь обратиться к памяти о годах совместной работы с Жанторе Нурлановичем Абишевым в Центрально-Казахстанском отделении Академии наук Казахской ССР и в системе Национальной Академии наук Республики Казахстан. Эти годы были временем интенсивного научного поиска, становления новых направлений и формирования стратегического видения развития горно-металлургической науки страны.

Жанторе Нурланович отличался редким сочетанием фундаментального мышления и управленческой прозорливости. В научных дискуссиях он неизменно стремился к глубине анализа, требовал строгой аргументации и точности выводов, при этом всегда поддерживал инициативу молодых исследователей. Его кабинет часто становился площадкой для принципиальных обсуждений, где рождались идеи, впоследствии легшие в основу крупных отраслевых проектов и программ научно-технического развития.

Он умел видеть перспективу на десятилетия вперёд. Развитие комплексной переработки минерального сырья рассматривалось им как стратегический вектор укрепления экономической самостоятельности республики, повышения эффективности использования природных ресурсов и формирования устойчивой сырьевой базы для металлургической промышленности. Уже тогда он подчёркивал необходимость технологического обновления отрасли, интеграции фундаментальных исследований и прикладных разработок, расширения международного научного сотрудничества.

Особо хочу отметить его человеческие качества. Он был принципиален, но корректен; требователен, но справедлив; твёрд в отстаивании научной позиции, но всегда открыт к аргументированному

диалогу. Он был не только руководителем, но, прежде всего, соратником, формировавшим культуру научной ответственности, уважения к профессии и друг к другу. Его личный пример воспитывал стремление к системности мышления и высокому профессиональному стандарту.

Созданная им научная школа продолжает развиваться, а идеи рационального и комплексного использования минеральных ресурсов сохраняют актуальность в современных условиях технологической трансформации. В этой связи особое значение имеет деятельность Национального центра по комплексной переработке минерального сырья Республики Казахстан, который стал логическим продолжением его научной концепции. Центр не только сохранил преемственность направлений, заложенных академиком Жанторе Абишевым, но и усилил их прикладную и инновационную составляющую.

Убеждён, что Конференция станет достойной площадкой для всестороннего обсуждения перспектив развития горно-металлургической науки, укрепления взаимодействия науки и производства и сохранения интеллектуального наследия Жанторе Нурлановича Абишева.

*Академик*



**М.Ж. Журинов**



*Уважаемые участники  
V Международной научно-практической  
конференции «Абишевские чтения - 2026»!*

Работа с Жанторе Нурлановичем Абишевым в Химико-металлургическом институте АН Казахской ССР стала важным этапом моей профессиональной деятельности. Он был руководителем, который не только ставил высокие научные задачи, но и формировал атмосферу ответственности и взаимного уважения.

В повседневной работе он отличался принципиальностью и точностью формулировок. Каждое исследование проходило тщательную научную экспертизу, каждое решение должно было иметь практическое подтверждение. Он учил нас мыслить системно, видеть взаимосвязь технологических процессов и учитывать экономическую составляющую научных разработок.

Особое внимание он уделял подготовке молодых специалистов. Многие сотрудники института прошли под его руководством серьёзную научную школу и впоследствии стали министрами, руководителями больших научных подразделений и крупных производственных предприятий. Его человеческие качества – порядочность, требовательность к себе и искренний интерес к коллегам – оставили глубокий след в памяти всех, кто с ним работал.

Сегодня деятельность Национального центра по комплексной переработке минерального сырья Республики Казахстан подтверждает жизнеспособность его идей. Центр продолжает развивать направления, заложенные академиком Жанторе Абишевым, адаптируя их к современным вызовам технологического развития.

Желаю участникам Конференции продуктивного диалога, научной смелости и сохранения лучших традиций отечественной горно-металлургической науки.

*Академик*

A handwritten signature in black ink, consisting of a large, stylized initial 'S' followed by a long, sweeping horizontal stroke that ends in a small hook.

*Н.С. Бектурганов*

***Дорогие друзья, участники V Международной  
научно-практической конференции  
«Абишевские чтения – 2026»!***



Я обращаюсь к вам не только как к представителям научного и промышленного сообщества, но и как к людям, которым дорого имя академика Жанторе Нурлановича Абишева.

Нас связывали годы дружбы – искренней, глубокой, основанной на взаимном уважении. В нём удивительным образом сочетались точность учёного и широта мыслителя. Он говорил о руде, металле, технологии – но всегда видел за ними судьбу страны.

Жанторе Нурланович принадлежал к тем редким людям, которые умеют мыслить историческими категориями. Для него горно-металлургический комплекс был не просто отраслью экономики, а основой национального развития, частью культурного и интеллектуального кода Казахстана. Он понимал, что наука – это не только лаборатория и формулы, но и ответственность перед будущими поколениями.

Мне всегда импонировала его внутренняя дисциплина и одновременно человеческая мягкость. В разговорах он оставался принципиальным, но никогда не терял достоинства и уважения к собеседнику. Он верил в силу знания и в силу диалога – именно это сегодня особенно важно, когда мир стремительно меняется, а технологии требуют нового уровня мышления.

То, что его имя объединяет учёных, производственников, государственных деятелей и молодых исследователей, – лучшее доказательство живой силы его наследия. В деятельности Национального центра по комплексной переработке минерального сырья Республики Казахстан, чьим создателем и первым генеральным директором являлся, я вижу продолжение его характера – системность, глубину и верность стратегическому видению.

Пусть эта Конференция станет не только площадкой для профессионального диалога, но и пространством духовной преемственности. Желаю вам смелых идей, ясности мысли и ответственности перед будущим – тем будущим, в которое так верил мой друг Жанторе Абишев.

***Поэт и Народный писатель  
Республики Казахстан***

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'О. Сулейменов'. The signature is fluid and stylized, with a long horizontal stroke at the end.

***О. Сулейменов***



*Уважаемые коллеги!*

Для представителей бизнеса имя Жанторе Нурлановича Абишева ассоциируется прежде всего с практической ценностью науки. Он был учёным, который понимал реальные потребности производства и говорил с промышленниками на языке эффективности и результата.

Он умел соединять фундаментальные исследования с конкретными технологическими решениями. Благодаря его инициативам развивались направления комплексной переработки сырья, рационального использования ресурсов, повышения добавленной стоимости продукции. Эти принципы и сегодня лежат в основе устойчивого развития предприятий горно-металлургического комплекса.

Особое уважение вызывает его отношение к людям. Он внимательно относился к специалистам, поддерживал инициативу, ценил профессионализм и честность. Именно поэтому вокруг него формировалась команда единомышленников, способная решать задачи национального масштаба.

Сегодня бизнес всё более остро ощущает необходимость научной поддержки и внедрения инноваций. Наследие академика Жанторе Абишева служит ориентиром для развития предпринимательства в ГМК, основанного на знаниях, технологиях и ответственности перед страной.

Желаю участникам V Международной научно-практической конференции «Абишевские чтения – 2026» продуктивной работы, новых партнёрств и решений, которые укрепят связь науки и производства – так, как это видел и реализовывал Жанторе Нурланович Абишев.

**Генеральный директор  
ТОО «Он-Олжа»**

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'M. A. Nabiev', written over a thin blue line.

**М.А. Набиев**

***Уважаемые участники  
V Международной научно-практической  
конференции «Абишевские чтения – 2026»!***



В своей жизни я не раз убеждался, что настоящий профессионализм всегда начинается с характера. Жанторе Нурланович Абишев был именно таким человеком – человеком дисциплины, точности и стратегического мышления. Эти качества близки и понятны каждому, кто несёт ответственность за результат.

Он работал в сфере, где цена ошибки высока, где каждое решение требует расчёта и предвидения. Но при этом он сохранял удивительное спокойствие и уверенность. В нём чувствовалась внутренняя опора – знание, опыт и вера в необходимость своего дела для страны.

Жанторе Нурланович умел вдохновлять. Он говорил о будущем горно-металлургического комплекса так, словно видел его на десятилетия вперёд. Его научные идеи рождались из глубокого понимания процессов и служили укреплению экономической независимости Казахстана.

Такие люди создают орбиту развития государства. Их вклад не ограничивается отраслью – он становится частью национальной истории. Желаю участникам Конференции твёрдости в достижении целей, широты мышления и верности выбранному пути – качеств, которыми в полной мере обладал академик Жанторе Абишев.

***Народный Герой Казахстана,  
Герой Советского Союза***

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Т.О. Аубакиров'.

***Т.О. Аубакиров***

**Уважаемые участники  
V Международной научно-практической  
конференции  
«Абишевские чтения – 2026»!**



Мне довелось работать с Жанторе Нурлановичем Абишевым в разные периоды – в государственных и министерских структурах, а также в системе Национальной академии наук Республики Казахстан. Эти годы убедительно показали масштаб его личности и глубину государственного мышления. Он воспринимал науку не как узкопрофессиональную сферу, а как стратегический ресурс страны, определяющий её промышленную и технологическую самостоятельность.

Жанторе Нурланович отличался системным подходом к решению сложнейших задач. В обсуждениях он всегда стремился видеть картину целиком — от фундаментальных исследований до промышленной реализации. Его аргументация была точной, основанной на расчётах и научной логике, но при этом он умел учитывать экономические, кадровые и организационные аспекты принимаемых решений.

Работая в сфере высокотехнологичных отраслей, мы нередко обсуждали вопросы долгосрочного развития научной инфраструктуры и подготовки специалистов. Он подчёркивал необходимость опоры на собственные научные школы и развитие прикладных направлений, способных обеспечить устойчивость стратегических отраслей экономики, включая горно-металлургический комплекс.

Создание и развитие Национального центра по комплексной переработке минерального сырья Республики Казахстан стало воплощением его убеждённости в том, что наука должна быть интегрирована в индустриальную политику государства. Сегодня, в условиях ускоренной технологической трансформации, его идеи о комплексном использовании минеральных ресурсов и научном обеспечении промышленности приобретают особую актуальность.

Убеждён, что «Абишевские чтения – 2026» станут значимой площадкой для стратегического диалога науки и производства. Желаю участникам Конференции конструктивной работы, научной глубины и решений, способствующих укреплению технологического потенциала Республики Казахстан.

**Доктор физико-математических наук,  
Президент Ассоциации  
«Ядерное общество Казахстана»**

**В.С. Школьник**

***Уважаемые участники V Международной  
научно-практической конференции  
«Абишевские чтения – 2026»!***



С чувством глубокой признательности принимаю участие в мероприятиях, посвящённых 90-летию со дня рождения академика Жанторе Нурлановича Абишева. Для меня это не только значимое научное событие, но и личная память о человеке, с которым меня связывали годы совместной учебы, работы, дружбы и взаимного уважения.

Жанторе Нурланович принадлежал к поколению учёных государственного масштаба. Он обладал редким даром – соединять фундаментальность научного подхода с чётким пониманием производственных задач. Его решения всегда отличались системностью и стратегической глубиной. Он умел видеть перспективу развития отрасли на десятилетия вперёд и настойчиво добивался реализации намеченных целей.

В нашей совместной работе по развитию горно-металлургической науки Казахстана он проявлял твёрдость характера, принципиальность и одновременно человеческую деликатность. Он был требователен к себе и коллегам, но всегда оставался справедливым и открытым к профессиональному диалогу. Именно благодаря таким качествам вокруг него формировалась сильная научная команда единомышленников.

Создание и развитие Национального центра по комплексной переработке минерального сырья Республики Казахстан стало воплощением его стратегического видения интеграции науки и промышленности. Сегодня, когда вопросы технологической независимости и глубокой переработки сырья приобретают особую актуальность, его идеи звучат особенно востребованно и современно.

Желаю участникам Конференции плодотворной работы, принципиальности в поиске истины, сохранения лучших традиций отечественной горно-металлургической науки, выдающийся вклад в развитие которой внес академик Жанторе Нурланович Абишев.

***Президент ТОО «ЕНТЦ  
«Металлы и материалы»,  
академик***

***С.М. Кожаметов***

*Уважаемые участники V Международной  
научно-практической конференции  
«Абишевские чтения – 2026»!*



Для меня участие в мероприятиях, посвящённых 90-летию со дня рождения академика Жанторе Нурлановича Абишева, – это огромная личная честь. Мне довелось быть знакомым с ним не только как с выдающимся учёным и организатором науки, но и как со старшим товарищем, наставником, человеком редкой внутренней культуры и ответственности перед страной.

Жанторе Нурланович принадлежал к поколению руководителей, которые мыслили категориями стратегического развития государства. Он подчёркивал, что наука должна быть встроена в экономическую модель страны, служить инструментом повышения производительности труда, технологической модернизации и формирования добавленной стоимости. Он глубоко понимал экономическую природу индустриальных процессов и всегда рассматривал горно-металлургический комплекс как системообразующий элемент национальной экономики.

Как экономист, я особенно ценю его способность видеть взаимосвязь между фундаментальными исследованиями и макроэкономическими показателями развития. Он одним из первых в отрасли последовательно продвигал идею комплексной переработки минерального сырья не только как технологическую задачу, но и как фактор устойчивого экономического роста, диверсификации и укрепления экспортного потенциала страны.

Его персональные качества заслуживают не меньшего уважения, чем научные достижения. Он был принципиален, но корректен; требователен, но справедлив; уверен в своей позиции, но открыт к аргументированному диалогу. Для многих из нас он оставался примером интеллигентности, выдержки, государственной ответственности и личной скромности.

Созданный им Национальный центр по комплексной переработке минерального сырья Республики Казахстан стал институциональным воплощением его идей – площадкой, где наука и промышленность взаимодействуют в интересах экономического развития страны. Сегодня, в условиях структурной трансформации мировой экономики и усиления конкуренции за технологические преимущества, значение таких научных центров только возрастает.

Убеждён, что «Абишевские чтения – 2026» станут важной площадкой для обсуждения роли науки в обеспечении долгосрочного экономического роста и индустриальной модернизации Казахстана. Желаю участникам Конференции содержательной дискуссии, новых научных и практических результатов и достойного продолжения дела академика Жанторе Нурлановича Абишева.

*Генеральный директор  
Института экономики  
Комитета науки Министерства  
науки и высшего образования РК,  
д.э.н., профессор*



*Е.Т. Садыков*

*Көрнекті ғалым  
Әбішев Жантөре Нұрланұлының  
туғанына 90 жыл толуына орай*



Әбішев Жантөре Нұрланұлы (1936-1999) – Қазақстандағы көрнекті ғалым-металлург, техника ғылымдарының докторы, профессор, Қазақстан Ұлттық ғылым академиясының корреспондент-мүшесі. Қазақстан Республикасының еңбек сіңірген өнертапқышы, Мемлекеттік сыйлығының иегері, 50 өнертабыстың авторы, АҚШ, Канада, Германия Федеративтік Республикасы, Австралия мемлекеттерінің патенттеріне ие болған. «Құрмет белгісі» орденімен, медальдармен және Қазақ КСР Жоғарғы Кеңесінің Құрмет грамотасымен марапатталған, Қазақстан Республикасының Минералдық шикізатты кешенді өңдеу жөніндегі ұлттық орталығын құрудың бастамашысы және 1993 жылдан бастап оның алғашқы бас директоры болды.

Жантөре Әбішев 1936 жылғы 18 наурызда Қарағанды облысы Тельман ауданында дүниеге келген. Арғын тайпасының Қуандық руының Тоқа атасынан шыққан. 1952 жылы Қарағанды қаласындағы №20 мектепті үздік бітірген. Қазақ тау-кен металлургия институтының металлургия факультетіне оқуға түсіп, 1957 жылы жоғары оқу орнын тәмамдағаннан кейін Қарағанды ғылыми-зерттеу көмір институтына жұмысқа жолданған. Аталған институт 1959 жылы Қазақ КСР Ғылым академиясының Химия-металлургия институтының құрамына берілді. 1967-1972 жылдары институт директорының ғылыми жұмыстар жөніндегі орынбасары қызметін атқарды. 1972-1992 жылдары Химия-металлургия институтының директоры болды.

Негізгі ғылыми еңбектері түсті және сирек металдар металлургиясы саласына арналған. Пиритқұрамды полиметалл шикізатын термомагниттік әдіспен байыту және кремнийі жоғары сульфидті материалдарды автоклавтық жағдайда кремнийсіздендіру технологиясын әзірледі. 50 авторлық куәлік пен патенттің иегері. «Құрмет белгісі» орденімен марапатталған.

2001 жылы 1983-2000 жылдар аралығындағы «Техногендік шикізатты өңдеу технологияларын әзірлеу және әлемдік деңгейдегі өнім –

ферросиликоалюминийді (әлемде алғаш рет) және жоғары тазалықтағы күкірт қышқылын өндіруді ұйымдастыру» атты еңбегі үшін авторлар ұжымымен бірге Қазақстан Республикасының ғылым және техника саласындағы Мемлекеттік сыйлығы берілді.

Бүгін ғылыми қауымдастық көрнекті ғалым, металлургия саласының ірі өкілі, техника ғылымдарының докторы, профессор, Қазақстан Ұлттық ғылым академиясының корреспондент-мүшесі, Қазақстан Республикасының еңбек сіңірген өнертапқышы Жантөре Нұрланұлы Әбішевтің 90 жыл толуын атап өтіп отырған сәтте, біз оның еліміздегі металлургия саласындағы ғылым мен жоғары техникалық білімнің дамуына қосқан зор үлесіне тағзым етіп, құрмет білдіреміз.

Қазақстан Ғылым академиясының корреспондент-мүшесі Жантөре Нұрланұлы Әбішевтің шәкірттері мен серіктестерінің, металлургтердің жаңа буынының жадында металлургия ғылымы мен Қазақстан металлургиясының дамуына қомақты үлес қосқан көрнекті ғалым әрі ұлағатты ұстаз ретінде мәңгі сақталады.

**«МәжКБИ» АҚ бас директоры,  
ҚР еңбек сіңірген қайраткері,  
техника ғылымдарының докторы,  
профессор**



**Б.К. Кенжалиев**

*Уважаемые организаторы,  
участники и гости конференции!*



Примите искренние приветствия и наилучшие пожелания по случаю проведения V Международной научно-практической конференции «Абишевские чтения – 2026», посвященной 90-летию со дня рождения выдающегося ученого-металлурга, доктора технических наук, профессора, члена-корреспондента Академии наук Казахстана Жанторе Нурлановича Абишева.

Проведение данной конференции является значимым событием для научного сообщества и горно-металлургической отрасли Республики Казахстан. «Абишевские чтения» объединяют ученых, специалистов промышленности, преподавателей и молодых исследователей для обсуждения актуальных вопросов развития горно-металлургического комплекса, внедрения современных технологий и укрепления научного сотрудничества.

Имя Жанторе Нурлановича Абишева занимает особое место в истории казахстанской науки. Его научная деятельность была связана с разработкой теоретических основ и технологических решений в области комплексной переработки минерального и техногенного сырья, совершенствования химико-металлургических процессов и повышения эффективности использования природных ресурсов. Благодаря его научным идеям и многолетней исследовательской работе было сформировано новое научное направление – химическое обогащение сырьевых ресурсов, позволившее вовлекать в переработку труднообогатимые и низкосортные руды.

Большой вклад Жанторе Нурланович внес в развитие научных исследований и формирование научных школ в области металлургии и переработки минерального сырья. Его труды получили широкое признание в научном сообществе, а разработанные технологии нашли применение в промышленности. Создание Национального центра по комплексной переработке минерального сырья Республики Казахстан стало важным этапом в развитии научно-технологического потенциала страны.

Сегодня вопросы интеграции современной науки, цифровых технологий и элементов искусственного интеллекта в промышленное

производство приобретают особую актуальность. Уверены, что обсуждение этих направлений в рамках конференции будет способствовать развитию научных исследований, обмену опытом и поиску новых решений для устойчивого развития горно-металлургического комплекса.

Желаем всем участникам плодотворной работы, содержательных научных дискуссий, новых идей, успешных исследований и дальнейших достижений во благо науки и развития горно-металлургической отрасли Республики Казахстан.

*С уважением,*

*Член Правления –  
Ректор Карагандинского технического  
университета имени Абылкаса Сагинова,  
д.э.н., профессор*

*С. Сагинтаева*



*Құрметті «Әбішев оқулары – 2026»  
конференцияға қатысушылар!*

**Қазақстандық металлургия және химия ғылымы мен өндірісін дамытуға өлшеусіз үлес қосқан қадірлі Жантөре Нұрланұлы Әбішевтің туғанына 90 жыл толды!**

Әбішев Жантөре Нұрланұлы – көрнекті ғалым-металлург, техника ғылымдарының докторы, профессор, Қазақстан ұлттық Ғылым академиясының толық мүшесі. Қазақстан Республикасының еңбек сіңірген өнертапқышы. 50 өнертабысының авторы, АҚШ, Канада, ГФР, Австралиядан патенттер алынды. «Құрмет белгісі» ордені, Қазақ КСР Жоғарғы Кеңесінің медальдары мен Құрмет грамоталарымен марапатталған.

Жантөре Нұрланұлының ғылыми жұмыстарының негізгі бағыты Орталық Қазақстанның минералды және техногенді шикізатын аралас химия-металлургиялық өндеуді теориялық жағынан іздестіру және технологиялық негізін жасау, сондай-ақ кен-металлургия өндірісінің жабық аз шығынды материалдық циклын құру болды.

Көрнекті ғалымның тікелей қатысуымен аса ірі, бірақ төменгі сортты Лисаков темір кен орнының шикізатын кешенді пайдалану технологиясының теориялық негіздері жасалды, соның нәтижесінде әлемдік тәжірибеде тұңғыш рет кедей фосфорлы темір кені өндіріске енгізілді, бұл кен орны осы күнге дейін Қазақстан қара металлургиясының негізгі шикізат қоры болып отыр. Қарағанды металлургия комбинатына өндіріске енгізіліп, жүзеге асырылған ғылыми-технологиялық кешен кезінде КСРО-ның ғылым мен техника саласындағы Мемлекеттік сыйлығына ие болды.

Жантөре Нұрланұлының тікелей қатысуымен ірі Лисаков кен орнының темір кені шикізатын кешенді пайдалану теориясын құру Қазақстанның қара металлургиясының шикізат базасын қалыптастыруға негіз болды. Полиметалдық сульфид шикізатын магниттік байыту технологиясы кеңінен танылды. Осы бағыттағы әзірлемелер әр түрлі елдердің 20 патентімен қорғалды.

Жантөре Нұрланұлы Әбішевтің есімі қазақстандық ғылым шежіресінде мәңгілікке сақталады. Химия-металлургия институтын дамыту мен құруға қосқан баға жетпес үлесі үшін Қазақстан Республикасы Министрлер

Кабинетінің 2000 жылғы 20 қазандағы қаулысымен Химия-металлургия институтына оның есімі берілді.

«Әбішев оқулары – 2026» конференцияға қатысушылардың барлығына жемісті жұмыс және қоғам алдында тұрған міндеттерді шешуге және химия және металлургия ғылымының инновациялық әлеуетін дамытуға үлес қосатын жаңа шығармашылық жаңалықтар тілеймін!

*Құрметпен,*

*Қазақстан Республикасы Әл-Фараби атындағы  
ғылым және техника саласындағы  
мемлекеттік сыйлығының лауреаты,  
биология ғылымдарының докторы,  
профессор*



*Күнсұлу Закарья*

# **Пленарная секция**

## РОЛЬ Ж.Н. АБИШЕВА В РАЗВИТИИ НАУКИ ДЛЯ ГМК

**Байсанов С.О.**

*Директор Филиала РГП «НЦ КПМС РК» «ХМИ им. Ж. Абишева»,  
доктор технических наук, профессор, лауреат государственной премии РК*

### ***Уважаемые коллеги, друзья и гости!***

Я рад приветствовать Вас – участников конференции «Абишевские чтения 2026», сотрудников и гостей Национального центра по комплексной переработке минерального сырья Республики Казахстан!

Сегодня, отмечая 90-летний Юбилей Абишева Жанторе Нурлановича, позвольте выразить глубокое уважение памяти замечательного ученого, отдавшего 42 года изучению процессов обогащения и металлургической переработки минерального сырья Казахстана. Для всех нас сегодня достаточно поучителен жизненный путь Ж.Н.Абишева – это пример трудолюбия и преданности своему делу.

Академик Куаныш Имантаевич Сатпаев, придавая особую роль развитию Центрального Казахстана был главным инициатором создания в регионе научно-исследовательского института в помощь быстро развивающимся химической и металлургической отраслям промышленности. Совет Министров КазССР, для укрепления и развития научной базы Центрального Казахстана, в который входили наиболее промышленно развитые территориально-производственные комплексы, Постановлением Президиума АН КазССР в сентябре 1958 г. принял решение об организации Химико-металлургического института.

В ХМИ Жанторе Нурланович прошел путь от аспиранта, младшего научного сотрудника, заведующего лабораторией, ученого секретаря, заместителя директора и директора института, которым с честью руководил 20 лет, проявляя особый интерес и акцент изучению и разработке рациональных методов природных богатств Центрального Казахстана, их комплексной переработки.

В стенах института Ж.Абишев стал доктором наук, был избран членом-корреспондентом Академии наук Казахской ССР, а с 1984 года стал академиком-секретарем Центрально-Казахстанского отделения.

В период директорства Абишева Ж.Н. (1972-1992 гг.) в институте были созданы лаборатории различного профиля по черной и цветной металлургии, химии, горного дела, геологии и др. Вся деятельность ученых под руководством Жанторе Нурлановича была неотъемлемо связана с процессом становления и направлена на развитие металлургической и химической промышленности Центрального Казахстана.

В те годы коллектив ученых, связавших свою жизнь с научно-исследовательской и изобретательской деятельностью насчитывал более 600 сотрудников. В дальнейшем на базе их научных направлений и школ, получивших развитие в Химико-металлургическом институте, были образованы: Институт проблем и комплексного освоения недр, Институт органического синтеза и углехимии, Научно-исследовательский институт по технической безопасности для предприятий черной металлургии, Институт фитохимии, Институт регионального развития.

Говоря о его научной деятельности, необходимо отметить, что с 1967 по 1992 гг. он являлся бессменным руководителем лаборатории физико-химии и технологии сульфидов, в стенах которой Ж.Н.Абишев с коллективом единомышленников разработал и создал теоретические и технологические основы глубокой комплексной химико-металлургической переработки труднообогатимого минерального и техногенного сырья. Впервые им введено понятие (классифицировано) обжигмагнитное

обогащение: для сульфидных руд – обжигмагнитное пирротинизирующее обогащение, для окисленных руд – обжигмагнитное магнетизирующее обогащение.

Известно, что при обогащении сульфидных руд в пиритный концентрат попутно переходят медь – до 15%, цинк – до 20, золото и серебро – до 70-75, свинец – до 30, молибден – до 60, кобальт – до 30, селен и теллур – до 65, индий и кадмий – до 40-50. Пиритные концентраты, выход которых составляет до 80% от массы руды, используются только в качестве сырья для производства серной кислоты с попутным (от 10 до 60%) извлечением селена, а получаемые пиритные огарки практически не применяются.

Абишев учитывая, что с ростом объема производства труднообогатимых полиметаллических руд всегда подчеркивал, что важна не переработка пиритных огарков, даже пиритных концентратов, а разработка рациональной технологии обогащения труднообогатимых руд, обеспечивающей не только максимальную концентрацию сульфидов, в том числе и пиритов, в коллективном концентрате, но и последующую селекцию этого концентрата на отдельные составляющие. Поэтому использование новых процессов, основанных на физических, в первую очередь, магнитных, механо- и термохимических воздействиях, может оказаться значительно эффективней традиционных схем коллективно-селективной флотации.

На основе теоретического и экспериментального изучения и обобщения физико-химических, в первую очередь, термохимических закономерностей поведения наиболее важных компонентов пиритсодержащих продуктов коллектив лаборатории во главе с Жанторе Нурлановичем Абишевым разработал способы магнитной сепарации полиметаллического сырья, их подготовки к этой операции, обогащения медных руд и извлечения из них меди, сульфидизации смешанных и окисленных руд, отгонки летучих и легкоразлагаемых компонентов. Сочетание этих способов с приемами доводки флотацией или автоклавным обескремниванием немагнитной фракции и окислительным обжигом или автоклавным окислением пирротинового концентрата позволили предложить безотходную технологическую схему комплексного использования пиритсодержащего сырья, предусматривающую получение высококондиционного железного концентрата, серы и серной кислоты, концентратов цветных и редких металлов, а также цемента.

В отличие от промышленно освоенных, в то время метод взвешенной плавки (Финляндия), который предусматривает переработку высококачественных пиритных концентратов, его разновидностей технологий фирм «Монтекатини» (Италия), «Кова-Сейко» (Япония) и наиболее перспективных и подготовленных к внедрению в СССР способов, разработанная Абишевым технология термомагнитного обогащения имела ряд преимуществ:

- переработка пиритсодержащего сырья любого вида и состава, что весьма важно для отечественных пиритных ресурсов, отличающихся многокомпонентным составом, наличием значительных количеств пустой породы и цветных металлов, различными вещественными характеристиками;

- обеспечение в одну стадию пирротинизирующего обжига при умеренных температурах (723–1273 К), селективное разделение исходного сырья на основные составляющие – элементарную серу, пирротиновый концентрат и продукт, обогащенный цветными и редкими металлами. Между тем, другие или предложенные виды термической обработки проводятся при несравнимо высоких температурах (финская плавка – 2053 К, хлоридовозгонка – 1473 К, другие виды обжига – 973–1273 К), не достигая тех же целей;

- комплексная переработка пиритсодержащего сырья с извлечением до 50 % серы в элементарном виде, 75–80 % цинка, 80–85 % свинца, 82–87 % меди, 96–98 % молибдена в немагнитный продукт и 85–98 % железа в пирротиновый концентрат; окислительный обжиг последнего обеспечивает извлечение оставшейся серы в серную кислоту и

получение огарка с содержанием железа 60–68 % и серы 0,5 %. Это создает реальные основы для организации безотходной технологии;

– использование действующих агрегатов с других производств, в частности, крупномасштабных шахтных установок железорудной промышленности для металлизации окатышей, шахтных хлораторов непрерывного действия с подачей вместо хлора конвертированного газа и др.

По расчетным данным, экономический эффект от внедрения технологии термомагнитного обогащения в те времена был на 0,3-0,6 руб/т пиритного концентрата больше по сравнению с наиболее рациональными из существующих и ранее рекомендованных к внедрению технологических схем переработки пиритных концентратов.

Таким образом, разработанная Жанторе Нурлановичем технология термомагнитного обогащения пиритсодержащего труднообогатимого полиметаллического сырья (хвостов, промпродуктов, руд и коллективных концентратов) это по сути стало новым направлением, основанным на сочетании обогатительных, пирометаллургических и гидрометаллургических процессов. Предложенная технология решает вопросы охраны окружающей среды, рационального использования недр, экономические задачи.

Значительное наследие Ж. Абишева – это, в первую очередь, многочисленные его ученики и последователи, а также научные монографии и статьи, множество конкретных предложений и способов переработки рудного и нерудного сырья (о чем говорят более 70 авторских свидетельств СССР и зарубежных патентов).

За неоценимый вклад в развитие и становление Химико-металлургического института, поднятие его статуса среди научной общественности Постановлением Кабинета Министров Республики Казахстан №1576 от 2000 года Химико-металлургическому институту присвоено имя члена-корреспондента НАН РК Ж. Абишева.

Абишев Ж.Н. отдал много сил на то, чтобы коллектив института оставался работоспособным, дружным, способным решать сложные научно-технические задачи на высоком уровне. В настоящее время институт с честью носит имя Ж.Н. Абишева и сотрудники института продолжают начатые научные дела.

В заключение хотелось бы сказать, что Жанторе Нурланович Абишев был талантливый исследователем, авторитетным ученым, пропагандистом отечественных достижений науки, вдумчивым наставником, очень простым в общении, душевным человеком с разносторонней и широкой эрудицией. Ученый-металлург-обогачитель, он внес большой вклад в развитие химической и металлургической науки и промышленности Казахстана. Память о нем выше времени, а научные достижения и разработки не потеряют актуальности еще долгие годы.

**РОЛЬ Ж.Н. АБИШЕВА В РАЗВИТИИ ОТРАСЛИ ГМК**  
**Выступление на 90-лети со дня рождения**  
**академика Жанторе Нурлановича Абишева**

**Радостовец Н.В.**

*Исполнительный директор Республиканской ассоциации горнодобывающих и горно-металлургических предприятий Республики Казахстан*

**Уважаемые коллеги, уважаемые ученые, представители промышленности, дорогие друзья!**

Сегодня мы собрались, чтобы отметить знаменательную дату – 90-летие со дня рождения выдающегося ученого, академика Жанторе Нурлановича Абишева. Его имя занимает особое место в истории науки и промышленности Казахстана. Он принадлежит к той плеяде ученых, которые не только занимались фундаментальными исследованиями, но и создавали научные основы развития целых отраслей экономики.

Жанторе Нурланович сформировал уникальный научный подход, в котором органично соединялись горное дело, обогащение полезных ископаемых, металлургия и химия. Именно такой междисциплинарный подход сегодня является основой современной мировой металлургии.

Более тридцати лет своей жизни он посвятил Химико-металлургическому институту. Под его руководством институт стал одним из ведущих научных центров, где разрабатывались технологии переработки сложного минерального сырья, создавались новые металлургические процессы и формировались научные школы.

Одним из наиболее значимых достижений Жанторе Нурлановича стало научное обоснование технологии переработки бедных фосфористых железных руд Лисаковского месторождения. Благодаря этим исследованиям огромные запасы руд, ранее считавшихся практически непригодными для промышленного использования, были вовлечены в производство. Это стало важным шагом в формировании сырьевой базы металлургии Казахстана.

Сегодня, спустя десятилетия, мы особенно ясно понимаем дальновидность этих научных идей. Мир стремительно меняется, и горно-металлургическая отрасль сталкивается с новыми вызовами.

Во-первых, происходит постепенное истощение богатых месторождений. Все большее значение приобретают сложные и низкосортные руды. Во-вторых, растут требования к экологической безопасности производства. В-третьих, усиливается конкуренция за технологии переработки минеральных ресурсов.

В этих условиях идеи академика Абишева приобретают особую актуальность. Он одним из первых сформулировал принцип комплексной переработки минерального сырья. По его мнению, руда должна рассматриваться не как источник одного металла, а как сложная система, содержащая множество ценных компонентов.

Сегодня мировая металлургия идет именно по этому пути. Современные технологии позволяют извлекать из руд десятки элементов – от основных металлов до редких и редкоземельных. Это особенно важно в эпоху высоких технологий, когда растет спрос на редкие элементы для энергетики, электроники и новых материалов.

Еще одно направление, которое активно развивал Жанторе Нурланович, – это переработка техногенных отходов металлургии. Сегодня во всем мире говорят о циркулярной экономике, о безотходных технологиях, о повторном использовании ресурсов.

Но по сути эти идеи развивались в научной школе Абишева задолго до того, как они стали глобальным трендом. Он рассматривал хвосты обогащения, металлургические шлаки и другие отходы как потенциальные источники ценных элементов.

Сегодня в Казахстане накоплены огромные объемы техногенных ресурсов. В них содержатся металлы, которые могут быть извлечены с использованием современных технологий. Таким образом, переработка техногенных материалов становится новым направлением развития горно-металлургического комплекса.

Еще один важный урок, который оставил нам академик Абишев, заключается в тесной связи науки и производства. Его исследования не оставались только на страницах научных журналов. Они внедрялись на предприятиях и становились частью реальной промышленной практики.

Сегодня для Казахстана это особенно важно. Наша страна обладает огромными запасами минеральных ресурсов. Но стратегическая задача заключается в том, чтобы не ограничиваться добычей сырья, а развивать глубокую переработку и выпуск продукции высокой добавленной стоимости.

Для этого необходимы новые технологии, современные научные исследования, развитие инженерных школ и тесное взаимодействие науки, университетов и промышленности.

Современный горно-металлургический комплекс Казахстана играет ключевую роль в экономике страны. Он обеспечивает тысячи рабочих мест, формирует значительную часть экспорта и является основой индустриального развития.

Однако дальнейший рост отрасли невозможен без технологического обновления. Необходимы новые методы переработки руд, цифровизация производства, внедрение экологически чистых технологий. В этом смысле научное наследие Жанторе Нурлановича Абишева продолжает оставаться актуальным и востребованным.

Он был не только выдающимся ученым, но и талантливым организатором науки. Под его руководством были подготовлены десятки молодых исследователей, сформировалась научная школа, которая продолжает работать и сегодня.

Его ученики и последователи продолжают развивать направления, которые он заложил. Они работают в научных институтах, университетах, на промышленных предприятиях.

Сегодня имя академика Абишева носит Химико-металлургический институт. Но настоящая память о человеке заключается не только в названиях улиц или институтов. Настоящая память – это продолжение его идей, развитие науки и внедрение новых технологий.

Когда мы говорим о будущем горно-металлургического комплекса Казахстана, мы фактически продолжаем ту научную линию, которую заложил Жанторе Нурланович.

Перед нашей страной стоят большие задачи. Это развитие новых металлургических производств, повышение эффективности использования минеральных ресурсов, создание экологически безопасных технологий.

Решение этих задач требует объединения усилий ученых, инженеров, предпринимателей и государства. Именно таким был подход академика Абишева – соединять науку, производство и государственную стратегию развития.

### ***Уважаемые коллеги!***

Жанторе Нурланович Абишев был выдающимся ученым, талантливым исследователем и человеком, искренне преданным своей стране. Его идеи продолжают жить в научных работах, в технологиях, в развитии металлургии Казахстана.

Сегодня, отмечая столетие со дня его рождения, мы выражаем глубокое уважение его научному наследию и подтверждаем нашу готовность продолжать развитие той научной школы, которую он создал.

Пусть память о Жанторе Нурлановиче Абишеве вдохновляет новые поколения ученых и инженеров на дальнейшие открытия и достижения.

***Спасибо за внимание!***

УДК 669.21/.23

## РАЗВИТИЕ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПЕРЕРАБОТКИ ЗОЛОТОСОДЕРЖАЩИХ РУД

Болотова Л.С., Суримбаев Б.Н.

*Филиал РГП «НЦ КТМС РК» ГНПОПЭ «Казмеханобр», г. Алматы, Казахстан*

За более чем полувековой период деятельности лаборатории благородных металлов Казмеханобра накоплен значительный научно-практический опыт в области переработки золотосодержащего сырья. За это время разработаны и внедрены многочисленные инновационные технологии, а также построены и введены в эксплуатацию золотоизвлекательные фабрики (ЗИФ) и участки кучного выщелачивания (УКВ) в Казахстане, странах СНГ и за рубежом. В работе представлены ключевые разработки последних лет.

В условиях неблагоприятной ценовой конъюнктуры на золото была создана и внедрена технология кучного выщелачивания, ранее практически не применявшаяся в Казахстане. Впервые реализовано окомкование глинистых и сильно деструктурированных руд на месторождении Суздальское, а также разработана инновационная схема регенерации золотонасыщенной ионообменной смолы с использованием электролиза. На данные решения получены патенты [1-3]. В результате ионообменно-сорбционная технология стала экономически более эффективной по сравнению с угольно-сорбционной и успешно эксплуатируется более 20 лет на предприятиях Казахстана, Киргизии и Китая. На текущий период в Казахстане были построены и успешно эксплуатировались более 20 предприятий кучного выщелачивания золота [4-5]. В настоящее время работает УКВ в ТОО «ГМК Васильевское», введен в эксплуатацию в 2017 году, в прошлом году была увеличена производительность с 500 тыс. тонн до 1,2 млн тонн руды в год. В 2023 году запущен в эксплуатацию УКВ на руднике Бельсу, использующий предварительное окомкование сильно деструктурированной руды [6]. В связи с усложнением состава руд разработан комплекс реагентных решений для повышения эффективности кучного выщелачивания, на которые в 2019–2021 гг. получены патенты [7-10].

Для переработки окисленных золотомедных руд, при которых медь увеличивает расход цианида и снижает сорбцию золота при концентрациях свыше 150 мг/л [11], разработаны и запатентованы технические решения [12, 13], обеспечивающие получение товарной меди и золота в виде сплава Доре.

При кислотном кучном выщелачивании окисленных медных руд одной из основных проблем является их высокая деструктурированность, ограничивающая высоту штабелей и ухудшающая перколяцию. Разработанная добавка нового связующего к концентрированной серной кислоте позволила получать прочные пористые окатыши и формировать штабели высотой более 6–7 м, устойчивые в процессе выщелачивания; на данную инновационную разработку в текущем году получен патент [14].

Казмеханобр совместно с ведущими золотодобывающими компаниями Казахстана внедряет современные гравитационно-гидрометаллургические технологии переработки коренных руд. Для АО «АК Алтыналмас» разработаны регламенты для ЗИФ Акбакай, Пустынное и Долинное, а также ЗИФ «RG Processing» месторождения Райгородок (ТОО «RG Gold») с применением концентраторов Knelson, интенсивного цианирования Ascasia и технологии SIP на оборудовании Pumpcell Plant (Kemix), а также реконструкции ЗИФ Пустынное с внедрением флотации, ультратонкого доизмельчения в IsaMill и процесса CIL [15].

Особое внимание уделяется переработке упорных и двойных упорных золотосульфидных руд, содержащих органический углерод, при которых извлечение осложняется тонкой вкрапленностью золота и эффектом природной сорбции [16]. Для руд месторождения Васильевское разработана схема с предварительной флотацией углерода и последующей сульфидной флотацией с применением депрессоров Flotent, при этом наилучшие результаты получены при использовании реагента FD-6 с расходом 200–300 г/т [17]. Для снижения эффекта «preg-robbing» при переработке окисленных концентратов совместно с BIOMIN OUTOTEC реализована технология NiTeCC на Суздальском предприятии ФИК «Алел». Цех NiTeCC построен и введен в эксплуатацию [18] и является первым в Казахстане и странах СНГ и вторым в мире.

В настоящее время четыре ЗИФ (Акбакай, Пустынное, Долинное, RG Processing Райгородок), два участка кучного выщелачивания (Васильевское и Бельсу) и технология NiTeCC на участке Суздальский обеспечивают по технологиям Казмеханобра более ~12,2 т золота в год (~10% золота Казахстана), вовлекая новые виды минерального и техногенного сырья и обеспечивая устойчивое расширение ресурсной базы и рост добычи.

### Источники

- 1 Болотова Л.С., Романенко А.Г. Патент РК № 19851. Способ извлечения золота из синтетических ионитов, опубл. 15.11.2010 г, Бюл. № 11.
- 2 Болотова Л.С., Романенко А.Г. Патент РК № 19854. Электролизер для извлечения золота и серебра из сернокислых растворов тиомочевина, опубл.15.08.2008г.
- 3 Болотова Л.С., Романенко А.Г. Патент РК № 20127. Способ извлечения золота и серебра из растворов электролизом, опубл. 15.10.2008 г, Бюл. № 10.
- 4 Шалгымбаев С.Т., Болотова Л.С., Сурымбаев Б.Н. Технологии Казмеханобра в области переработки бедных золотосодержащих руд и техногенного сырья // Цветные металлы. – 2021. – №9. – С. 38-45. doi: 10.17580/tsm.2021.09.03
- 5 Surimbayev B., Bolotova L., Akcil A., Yessengarayev Y., Kanaly Y., Akzharkenov M., Khumarbekuly Y., Shalgymbayev S., Zhumabai S., Mambetzhanova, A. (2025). Technology Development of Gold Heap Leaching in Kazakhstan: An Overview. *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review*, 1–28. <https://doi.org/10.1080/08827508.2024.2448786>
- 6 Bolotova, L.S., Shalgymbayev S.T., Raipov S.K., Surimbayev B.N., Kanaly Y.S., Kurmanov Z.E. Heap leaching of gold from the destructured oxidized ore of the Belsu deposit, Republic of Kazakhstan. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2023. 1254(1): 012094. doi: 10.1088/1755-1315/1254/1/012094.
- 7 Surimbayev, B., Yessengarayev, Y., Khumarbekuly, Y., Bolotova, L., Kanaly, Y., Akzharkenov, M., Zhumabai, S. Effect of sodium acetate additive on gold leaching with cyanide solution: Laboratory and semi-pilot leaching tests. *Heliyon*. 2024. 10(15): e35805. doi: 10.1016/j.heliyon.2024.e35805.
- 8 Surimbayev, B., Yessengarayev, Y., Khumarbekuly, Y., Bolotova, L., Kanaly, Y., Zhumabai, S., Akzharkenov, M. Influence of Hydrogen Peroxide and Sodium Acetate on Gold Cyanidation: Laboratory and Pilot-Scale Tests. *Mining, Metallurgy & Exploration*. 2026. doi: 10.1007/s42461-025-01460-5
- 9 Сурымбаев Б.Н., Болотова Л.С., Шалгымбаев С.Т., Байконурова А.О. Патент РК № 4536. Способ переработки золотосодержащих гравитационных концентратов, опубл. 13.12.2019 г, Бюл. № 50.
- 10 Есенгараев Е.К., Сурымбаев Б.Н., Болотова Л.С., Шалгымбаев С.Т., Баимбетов Б.С. Патент РК № 6316. Способ кучного выщелачивания золотосодержащих руд, опубл.13.08.2021 г, Бюл. № 32.

- 11 Kanaly, E.S., Surimbaev, B.N., Bolotova, L.S., Shalgymbaev, S.T. Choice of a Sorbent for Copper and Cobalt Sorption from Gold-Containing Heap Leaching Solutions. *Metallurgist*. 2024. 67(9): 1457-1465. doi:10.1007/s11015-024-01638-0.
- 12 Болотова Л.С., Ахметов Н.И., Сыздыков Е.К., Романенко. Патент РК № 18531. Способ кучного выщелачивания золота из поликомпонентных золотосодержащих руд, опубл. 15.06.2007 г.
- 13 Шалгымбаев С.Т., Болотова Л.С., Ибраев С.Я., Суримбаев Б.Н., Акжаркенов М.Д., Қаналы Е.С. Патент РК № 36552. Способ извлечения меди из циансодержащих оборотных растворов переработки золотомедных руд с регенерацией цианида и меди, опубл. 12.01.2024 г, Бюл. № 2.
- 14 Болотова Л.С., Акжаркенов М.Д., Шалгымбаев С.Т., Малимбаев М.С., Хумарбекулы Е, Малимбаев С.Р. Патент РК № 36755. Способ кучного выщелачивания медных деструктурированных руд, опубл. 24.05.2024 г, Бюл. № 21.
- 15 Surimbayev, B., Bolotova, L., Akcil, A., Yessengarayev, Y., Khumarbekuly, Y., Kanaly, Y., Akzharkenov, M. Gravity Concentration of Gold-Bearing Ores and Processing of Concentrates: A Review. *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review*. 2025. 46:7, 726-750. doi: 10.1080/08827508.2024.2395824.
- 16 Surimbayev, B., Akcil, A., Bolotova, L., Shalgymbayev, S., Baikonurova, A. Processing of Refractory Gold-Bearing Sulfide Concentrates: A Review. *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review*. 2024. 45(6): 573–591. doi: 10.1080/08827508.2023.2230344
- 17 Bolotova L., Surimbayev B., Kanaly Y., Assylbekov A. (2025). Selection of an Organic Carbon Depressant for the Flotation of Refractory Gold Sulfide Ores. *Mining, Metallurgy & Exploration* 42, 3965–3973 doi: 10.1007/s42461-025-01383-1
- 18 Акт внедрения. 11.09.2017 г. Разработка проекта и рабочей документации для отработки в опытно-промышленных условиях инновационной технологии HiTeCC на участке «Суздальский», х/д № 767 от 18.12.2014 г.

## **ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОМ КОМПЛЕКСЕ: РАЗВИТИЕ ЦИФРОВИЗАЦИИ И АВТОМАТИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССАМИ**

**Муханов Т.М.**

*Советник исполнительного директора, профессор, почетный горняк РК,  
ОЮЛ «Республиканская ассоциация горнодобывающих и горно-металлургических  
предприятий», г. Астана, Казахстан*

***Уважаемые коллеги!***

Рад приветствовать участников **V Международной научно-практической конференции «Абишевские чтения – 2026: Интеграция современной науки, цифровых технологий, искусственного интеллекта и промышленного производства в горно-металлургическом комплексе Республики Казахстан»**, посвященной 90-летию академика Жанторе Нурлановича Абишева.

От имени **Республиканской ассоциации горнодобывающих и горно-металлургических предприятий (АГМП)** выражаем благодарность организаторам за приглашение принять участие в работе конференции.

### ***1. Касательно АГМП***

Миссия АГМП заключается в содействии устойчивому развитию ГМК, поддержке отечественных производителей и переработчиков металлов, консолидации усилий промышленности, науки и государства для модернизации отрасли и внедрения современных технологий в горно-металлургическом комплексе.

На сегодняшний день АГМП аккредитована в Министерстве финансов РК, Министерстве национальной экономики РК, Министерстве иностранных дел РК, Министерстве торговли и интеграции РК, Министерстве юстиции РК, Министерстве промышленности и строительства РК, Министерстве транспорта РК, Министерстве экологии и природных ресурсов РК, Министерстве труда и социальной защиты населения РК, Министерстве энергетики РК, Министерстве здравоохранения РК, Министерстве по чрезвычайным ситуациям РК, Министерстве искусственного интеллекта и цифрового развития РК, Министерстве сельского хозяйства РК, Министерстве водных ресурсов и ирригации РК, Агентстве по стратегическому планированию и реформам РК, Агентстве РК по атомной энергии, Национальной палате предпринимателей РК «Атамекен».

АГМП является членом ICMM (International Council on Mining and Metals) - Международного совета по горнодобывающей и металлургической промышленности, являющегося крупнейшим в мире отраслевым объединением в сфере ГМК.

По состоянию на 1 января 2026 года в состав АГМП входят 82 предприятия горно-металлургического сектора Казахстана.

### ***2. Современное состояние горно-металлургического комплекса Казахстана***

По состоянию на **2025 год горно-металлургический комплекс (ГМК)** остается одной из ключевых отраслей экономики Республики Казахстан.

Доля ГМК в структуре валового внутреннего продукта составляет около **9%**, а общий объем продукции отрасли превышает **14 трлн тенге**. В отрасли занято более **220 тысяч человек**, что подтверждает её стратегическое значение для промышленного развития страны.

Объем производства металлургической промышленности демонстрирует устойчивый рост:

- 2024 год – 9832 млрд тенге,
- 2025 год – 12400 млрд тенге.

Объем добычи металлических руд также увеличивается:

- 2024 год – 4480 млрд тенге,
- 2025 год – 5823 млрд тенге.

На сегодняшний день в отрасли действуют:

- 251 контракт на недропользование,
- из них 96 – на разведку,
- 101 – на добычу,
- 54 – на совместную разведку и добычу.

Кроме того, выдано 2904 лицензии, из которых 729 лицензий выдано за последний отчетный период, включая 707 лицензий на разведку и 22 лицензии на добычу.

Данные показатели свидетельствуют о стабильном развитии горнодобывающей отрасли и высоком инвестиционном потенциале сектора.

### ***3. Научное наследие академика Ж.Н. Абишева***

Особое значение для развития отечественной горно-металлургической науки имеют труды академика **Ж.Н. Абишева**.

Разработанная им **концепция замкнутых малоотходных технологических циклов** полностью соответствует современным международным требованиям устойчивого развития, включая стандарты **ESG, декарбонизации и экологической эффективности производства**.

Современные проекты переработки техногенных отходов, шлаков и хвостов фактически продолжают научные идеи, сформулированные в его фундаментальных работах:

- «Магнитные сульфиды железа» (1981),
- «Термомагнитное обогащение пиритсодержащего сырья» (1986),
- «Щелочное обескремнивание сырья» (1987),
- «Комплексное использование оксидного сырья тяжелых цветных металлов» (1989).

Эти исследования заложили методологическую основу современных технологий обогащения, гидрометаллургии и комплексной переработки минерального сырья.

### ***4. Цифровизация и инновации в горно-металлургической отрасли***

В условиях глобальной технологической трансформации предприятия ГМК активно внедряют решения, соответствующие концепции **Индустрии 4.0**.

К основным направлениям цифровой трансформации отрасли относятся:

- промышленный интернет вещей (Industrial IoT),
- искусственный интеллект,
- анализ больших данных,
- автоматизированные системы управления производством,
- цифровое моделирование месторождений,
- создание «умных» шахт и карьеров (Smart Mining).

## Примеры внедрения цифровых технологий на предприятиях ГМК

### **4.1 Компания ТОО «Корпорация Казахмыс»**

На предприятиях корпорации внедряются системы цифрового мониторинга и безопасности.

Одним из ключевых проектов является **RPTPS (Real-time Personnel Tracking and Positioning System)** – система позиционирования персонала и техники в шахтах.

Данная система позволяет:

- отслеживать местоположение работников в режиме реального времени
- оперативно передавать сигналы тревоги
- контролировать состояние шахтной инфраструктуры.

Кроме того, реализуются проекты:

- цифровизации горных выработок,
- создания цифровых моделей шахт,
- внедрения предиктивной аналитики оборудования.

В Караганде действует **научно-технологический центр Kazakhmys R&D Center**, который занимается разработкой инновационных решений для горнодобывающей промышленности.

### **4.2 Компания «Богатырь Комир»**

На крупнейшем угольном разрезе Казахстана активно внедряются системы автоматизации горнотранспортного комплекса. Особое значение имеет **проект внедрения циклично-поточной технологии (ЦПТ)**. Данная технология сочетает:

- цикличную работу карьерной техники
- непрерывную транспортировку горной массы ленточными конвейерами.

Использование ЦПТ позволяет:

- снизить количество карьерных самосвалов,
- сократить расход топлива,
- повысить производительность добычи,
- снизить экологическую нагрузку.

### **4.3 Компания KAZ Minerals**

Компания внедряет цифровые решения в рамках концепции **Smart Mine («Интеллектуальный карьер»)**. Используются технологии:

- 3D-моделирования месторождений,
- геоинформационные системы,
- дистанционный мониторинг оборудования,
- автоматизированные системы управления производством.

### **4.4 Компания Eurasian Resources Group (ERG)**

ERG является одним из лидеров цифровой трансформации отрасли.

Ключевым проектом является внедрение системы **MES (Manufacturing Execution System)**, обеспечивающей управление производственными процессами в режиме реального времени. Система внедрена на:

- Донском ГОКе,
- Аксуском заводе ферросплавов,
- Актюбинском заводе ферросплавов,
- Казахстанском электролизном заводе.

Также реализуются проекты:

– **SBM (Steel Belt Monitoring)** – система машинного зрения для контроля оборудования;

- система «Антисон» – мониторинг состояния водителей карьерной техники;
- проект «Горизонтальный мониторинг» – цифровой обмен данными с государственными органами.

#### **4.5 Компания «Алтыналмас»**

В компании реализуется проект **Digital Mine** («Цифровой рудник»). Основные элементы проекта:

- промышленный интернет вещей (IIoT),
- система управления карьерной техникой **Wenco**,
- системы видеоаналитики и промышленной безопасности.

Данные решения позволяют повысить эффективность управления производственными процессами и снизить риски на производстве.

#### **Заключение**

Таким образом, цифровизация и внедрение инновационных технологий становятся ключевым фактором развития горно-металлургического комплекса Казахстана.

Использование технологий **искусственного интеллекта, промышленного интернета вещей, анализа больших данных и автоматизированных систем управления** позволяет:

- повысить эффективность добычи полезных ископаемых;
- снизить производственные издержки;
- улучшить уровень промышленной безопасности;
- повысить экологическую устойчивость производства.

В перспективе дальнейшее развитие цифровых технологий позволит сформировать **высокотехнологичную промышленную инфраструктуру**, повысить конкурентоспособность казахстанской металлургии и обеспечить устойчивое развитие отрасли.

Завершая доклад, хочу процитировать основной посыл школы Абишева: *«Металлургия будущего – это химия и глубокая автоматизация»*. Сегодня мы видим, как магнитные сульфиды железа и оксидное сырье, изученные Жанторе Нурлановичем, перерабатываются с помощью ИИ и роботизированных комплексов. Наша задача на 2026–2040 годы – обеспечить преемственность этой великой научной школы и довести уровень инноваций до полной индустриальной независимости Казахстана.

**Светлая память академику Абишеву и успехов всем нам в развитии отечественного ГМК!**

*Благодарю за внимание!*

## НАСЛЕДИЕ АКАДЕМИКА Ж.Н. АБИШЕВА В XXI ВЕКЕ

Жандос Абишев

*Председатель совета директоров ассоциации «Тау-Кен Казахстан»,  
кандидат технических наук*

***Уважаемые коллеги, дорогие друзья, участники «Абишевских чтений – 2026»!***

Сегодня, 20 марта 2026 года, мы собрались здесь в Алматы, чтобы **отметить 90-летие со дня рождения и почтить память академика Жанторе Абишева** – ученого, чье имя неразрывно связано с формированием интеллектуального фундамента современного горно-металлургического комплекса Казахстана.

Отрадно, что Конференция проходит в стенах Национального центра по комплексной переработке минерального сырья, основателем и первым Генеральным директором которого он являлся.

Для меня, для родных и близких Жанторе Нурлановича – это не только научная дата. **Это личная история, это история нашей семьи, история нашего рода, это история созданной им научной школы, история отрасли и это история нашей страны.**

### **I. Шежире (родословная) Ж.Н. Абишева**

**Руы Жанторе Абишева: он из племя Аргын, рода Тока, ветви Құлымбет.** В нашем руы было много известных ученых, писателей и общественных деятелей. Отмечу только двоих, тех представителей рода (наших аруахов), кто оказал, по словам самого отца, наибольшее влияние на его родовое становление.

Это – его прапрадед Лау-мырза (1770-1848). Из истории известно, что Лау-мырза (его имя говорит само за себя) улаживал споры и правил в регионе реки Нура, являлся советником Кенесары-хана.

Человеком большой души был мой дед и отец Жанторе Нурлановича, **многоуважаемый аксакал Нурлан, которого все звали Кенже-ага.** Я помню, как к деду приезжали карагандинские ректоры, академики Букетов и Сагинов, чтобы поговорить, пообщаться и посоветоваться с ним. **Природный ум и мудрость Кенже-ага,** его неторопливая речь и интуиция генетически передались его сыну. От матери (ее звали Кулянда) сыну передались доброта и скромность. Последние годы своей жизни Жанторе Нурланович часто вспоминал ее и сильно грустил по ней.

Продолжение династии: сын Жандос, по образованию инженер-металлург; дочь Сауле, психолог; внучка Сейдана, экономист; внук Амангельды, дипломат и экономист; внучка Алтынай, финансист и психолог. Все закончили престижные зарубежные вузы, все в настоящее время работают по выбранным ими специальностям.

**Знания и умения детей и внуков востребованы обществом и государством,** они с честью носят свои фамилии и сохраняют благодарную память о Жанторе Нурлановиче Абишеве.

### **II. Учителя и наставники Ж.Н. Абишева**

Научная деятельность Ж.Н.Абишева была тесно связана со становлением и развитием академической науки в Центральном Казахстане и формировалась, как он сам не раз подчеркивал, **при непосредственном участии крупных ученых – академиков АН Казахской ССР В.Д. Пономарева и Е.А. Букетова, член-корреспондента РАН В.И. Ревнивцева.**

### **III. Жанторе Абишев – архитектор системной металлургии, обогащения и горного дела**

Отец никогда не рассматривал металлургию, обогащение и горное дело как совокупность отдельных переделов.

**Он видел и создавал систему.** Он соединял:

- руду,
  - химию,
  - энергетику,
  - экологию,
  - экономику,
  - людской потенциал
- в единое целое.

Именно поэтому его научные исследования по комбинированным химико-металлургическим процессам стали основой промышленного перехода от экстенсивной добычи к глубокой и комплексной переработке минерального сырья.

### **IV. Интеллектуальный прорыв: от руды к технологической независимости**

Вовлечение фосфористых руд Лисаковского месторождения, разработка технологии получения ферросиликоалюминия и другие работы Жанторе Нурлановича, его соратников и учеников стали не просто технологическими решениями.

**Это был вопрос индустриальной независимости страны. Он, совместно со своими коллегами, доказал то, что Казахстан может перерабатывать сложнейшее, низкокачественное и труднообогащаемое полиметаллическое сырье, используя собственные технологии.**

Сегодня, когда мы говорим о технологическом суверенитете страны, мы фактически продолжаем ту же линию.

### **V. Наследие Ж.Н. Абишева через ESG XXI века**

Когда мы обсуждаем:

- устойчивое развитие,
- переработку техногенных минеральных образований,
- декарбонизацию,
- и циркулярную экономику,

мы используем современные термины.

**Но принципы замкнутого малоотходного цикла были сформулированы Жанторе Нурлановичем Абишевым три десятилетия назад.**

Таким образом, он во многом предвосхитил повестку XXI века.

### **VI. Главные (ключевые) научные работы Ж.Н. Абишева**

В числе его основных фундаментальных работ такие монографии, как:

- «Магнитные сульфиды железа» (1981),
- «Термомагнитное обогащение пиритсодержащего сырья» (1986),
- «Щелочное обескремнивание сырья» (1987),
- «Комплексное использование оксидного сырья тяжелых цветных металлов» (1989).

Эти работы заложили **методологическую основу современных технологий обогащения, гидрометаллургии и комплексной переработки минерального сырья.**

Кроме монографий, статей в научных изданиях, докладов на семинарах и совещаниях, это также его авторские свидетельства и зарубежные патенты.

**Но вклад Жанторе Нурлановича – это не только его монографии и патенты. Это, прежде всего, люди.**

Это ученики и ученики учеников, которые работают сегодня в:

- научно-исследовательских институтах,
- производственных компаниях,
- отраслевых структурах.

## **VII. Интеграция науки и производства**

Ж.Н. Абишев возглавлял, создавал и вновь возглавлял **крупнейшие научные и научно-производственные организации страны:** Химико-металлургический институт, Центрально-Казахстанское отделение Академии наук Казахской ССР, уже в годы независимости Национальный центр по комплексной переработке минерального сырья Республики Казахстан. **Он выступал своеобразным архитектором (интегратором) науки и производства,** без синтеза которых невозможно дальнейшее развитие современного ГМК. **Являлся формальным и неформальным лидером.**

## **VIII. Влияние Ж.Н. Абишева на современный ГМК Казахстана**

Вкратце, если суммировать, это:

- **переход от экстенсивной добычи к глубокой переработке;**
- интеграция науки и производства;
- рост добавленной стоимости;
- **формирование технологической устойчивости отрасли.**

## **IX. 2026-2050 годы: куда ведет научная школа академика Жанторе Абишева?**

Если продолжить его логику, то приоритеты очевидны:

- **Освоение низкокачественных и сложных полиметаллических месторождений и техногенных минеральных образований (ТМО),**
- Глубокая химическая переработка и другие инновационные технологии на стыке наук,
- Низкоуглеродная и циркулярная металлургия,
- Цифровое моделирование и применение ИИ в металлургии и обогащении,
- **Экспорт казахстанских технологических решений за рубеж.**

**Наследие академика Абишева – это не архив, это дорожная карта.**

## **X. Личное измерение наследия академика Ж.Н.Абишева**

Как сын, я видел в нем не только ученого и организатора науки.

Я видел человека огромной внутренней дисциплины, собранности, целеустремленности, уважения к труду и к людям. Своим примером, **будучи государственным, он как бы говорил нам: «Наука должна работать на страну».**

При этом, отец обладал не только высокими качествами трудолюбия, а **был замечательным человеком с отличительными качествами добросовестности,**

**честности и справедливости. Его отличали удивительная доброта, неподдельная скромность и искренняя вежливость.** Он обладал прекрасным чувством юмора. Был разносторонним человеком. Интересовался спортом, культурой и искусством, как традиционным, так и современным. Много читал, слушал музыку, понимал художественное искусство. Когда он приезжал по делам в Москву, мы ходили с ним на спектакли в лучшие московские театры того времени. В быту он был неприхотлив, при этом, сам чем мог всегда помогал всем своим близким и дальним родственникам, **имел много друзей и сам был верным другом, сыном и братом.**

Завершая доклад, хотел бы подытожить: **наследие академика Жанторе Нурлановича Абишева** – это, прежде всего:

- научная методология,
- стратегическое видение,
- управленческая модель,
- и преемственность.

И самое главное – это **ответственность перед людьми, наукой, отраслью и страной, перед ее будущими поколениями.**

**Пусть «Абишевские чтения – 2026» станут не только данью памяти выдающего ученого и организатора науки, но и точкой стратегического обновления отрасли.**

Хотел бы выразить благодарность руководству и всему коллективу Национального центра по комплексной переработке минерального сырья за организацию столь важного научного форума и за приглашение принять участие в работе пленарного заседания Конференции.

**Благодарю всех присутствующих:** прежде всего, наших уважаемых аксакалов, академиков, соратников Жанторе Нурлановича, представителей отраслевого министерства, директоров институтов, ученых, организаторов науки и производства, руководителей компаний и отраслевых ассоциаций, родных и близких, членов семьи Жанторе Нурлановича, друзей, коллег и гостей, прибывших сегодня сюда со всего Казахстана и из-за рубежа.

**Желаю участникам Конференции плодотворной работы и результативных научных дискуссий!**

*Спасибо за внимание!*

## **Секция 1**

# **Инновационные технологии в металлургии**

УДК 669.24:622.765

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ СЕЛЕКТИВНОГО ТВЁРДОФАЗНОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ НИКЕЛЯ И ЖЕЛЕЗА ИЗ ТРУДНОПЕРЕРАБАТЫВАЕМЫХ ОКИСЛЕННЫХ НИКЕЛЕВЫХ РУД ВОДОРОДОМ

Абілберікова А.А.<sup>1</sup>, Есенгалиев Д.А.<sup>2</sup>, Адилев Г.А.<sup>2</sup>, Бензесик К.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>НАО «Карагандинский индустриальный университет», г. Караганда, Казахстан

<sup>2</sup>НАО «АРУ им. К. Жубанова», г.Актобе, Казахстан,

<sup>3</sup>Стамбульский технический университет, г. Стамбул, Турция

С ростом потребности в никеле для высокотехнологичных отраслей (аккумуляторы, металлургия, авиация и др.) всё более актуальной становится переработка низкосортных окисленных никелевых руд, особенно в странах с неосвоенными запасами, таких как Казахстан. По состоянию на 2023 год в Казахстане сосредоточено более 1,9 млн тонн никелевых руд, что составляет 1,4% мировых запасов, однако вовлечение этих руд в промышленную переработку ограничено их сложным минеральным составом [1-4]. Одним из экологически перспективных методов является восстановление водородом – чистым энергетическим ресурсом, способным заменить углеродсодержащие восстановители и снизить выбросы парниковых газов.

**Цель исследования** – оценка возможности селективного восстановления никеля и железа из трудно перерабатываемых оксидных никелевых руд Батамшинского месторождения с применением водорода, а также изучение влияния добавления извести, магнитной сепарации и пирометаллургического разделения на эффективность извлечения целевых компонентов. Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

1. Определить химический и фазовый состав исходной руды.
2. Провести восстановление руды водородом при 1100 °С с различными условиями (без извести и с её добавлением).
3. Осуществить мокрую магнитную сепарацию восстановленного продукта при магнитной индукции 220 мТ.
4. Провести пирометаллургическое разделение при температуре 1650 °С.
5. Проанализировать состав и распределение полученных металлических и шлаковых фаз.

### Основные результаты

**1.** Рентгенофазовый и микроспектральный анализ показал, что основными компонентами исходной никелевой руды являются магнетит ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), фаялит ( $\text{Fe}_2\text{SiO}_4$ ), хромовая шпинель ( $\text{FeCr}_2\text{O}_4$ ), а также никельсодержащие силикаты – гарниерит ( $\text{Ni}_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ ) и непуит. Никель в основном связан с кремнием и представлен в виде примесей в силикатных структурах. В исходной руде содержание никеля достигало до 1,6 ат.%. При добавлении извести и последующем обжиге в составе фиксируются фазы оксида кальция и силицида кальция, что видно на рисунке 1.

**2.** Восстановление руды водородом без добавления извести. При температуре 1100 °С и расходе водорода 0,5 л/мин в течение 60 минут в восстановленной руде наблюдалось исчезновение фаз, содержащих оксиды железа, и образование металлической фазы, представленной сплавом железа и никеля (рисунок 2). Анализ состава металлической фазы показал, что содержание никеля достигало 2,3 ат.%, а железо – до 98 ат.%. В то же время в шлаке сохранялись кремнийсодержащие фазы – фаялит и хромовая шпинель, что свидетельствует о слабом восстановлении хрома и устойчивости кремнийсодержащих структур при данной температуре.

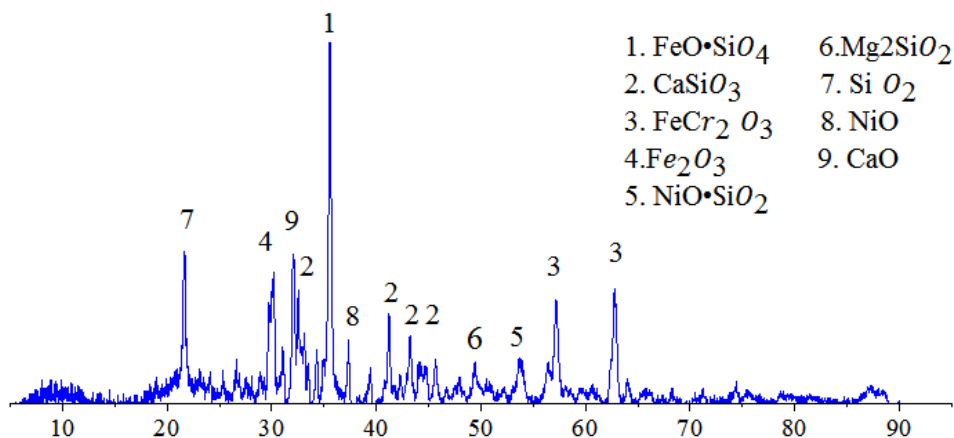


Рисунок 1 – Дифрактограмма обожжённой с известью руды

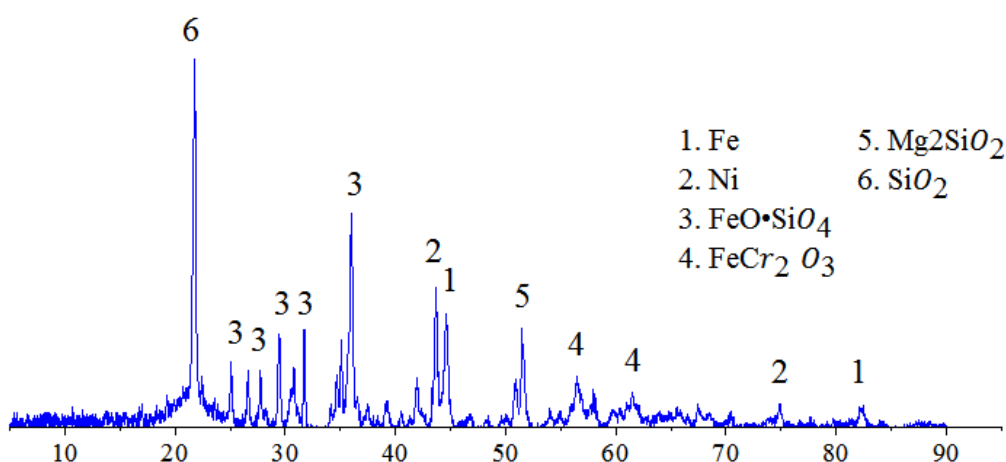


Рисунок 2 – Дифрактограмма восстановленной руды

**3. Восстановление руды с добавлением извести.** Введение CaO в состав руды привело к значительным изменениям фазовой структуры. Наблюдалось образование силицидов кальция и снижение содержания железа в шлаковой фазе (рисунок 3). В металлической фазе содержание никеля достигало 17 масс.%. Это связано с замещением катионов Fe<sup>2+</sup> и Ni<sup>2+</sup> кальцием, что способствовало повышению степени восстановления металлов. Однако восстановление железа из соединений с хромом всё так же не наблюдалось.

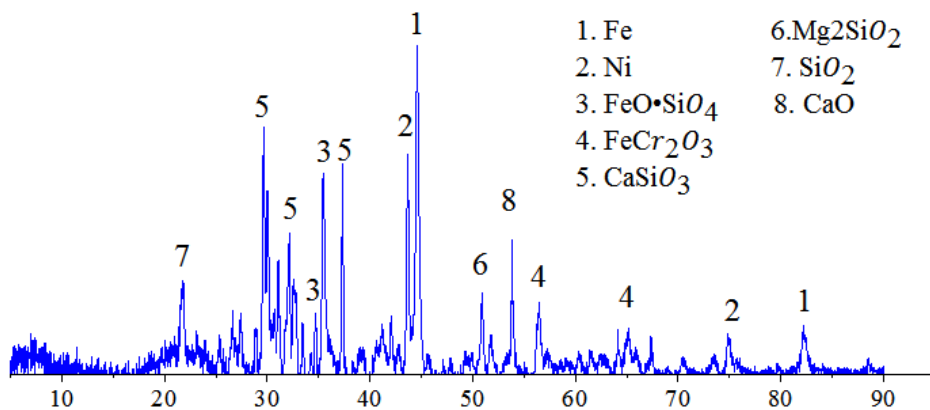


Рисунок 3 – Дифрактограмма восстановленной руды с известью

**4. Магнитная сепарация.** После восстановительного обжига никелевой руды в атмосфере водорода с добавкой извести продукт процесса был исследован методом мокрой магнитной сепарации на трубке Дэвиса. Для эксперимента использовали пробу фракции  $-1,0 + 0,75$  мм, предварительно подготовленную в виде водной пульпы. Магнитную сепарацию осуществляли при магнитной индукции 220 мТ. В результате процесса разделения были выделены магнитная и немагнитная фракции. Из исходной навески массой 84 г масса магнитной части составила 5 г, немагнитной – 60,42 г.

**5. Пирометаллургическое разделение восстановленных образцов.** Плавка образцов при температуре 1650 °С в корундовом тигле позволила изучить возможность разделения металлической и шлаковой фаз. В образцах без добавления извести наблюдалась высокая концентрация никеля в металлической фазе – до 41,66 масс.%, а также присутствие кобальта. В то же время в шлаковой фазе отсутствовал никель, но фиксировалось остаточное содержание железа. В образцах с известью разделение фаз оказалось менее эффективным: никель не был обнаружен в шлаке, но его содержание в металлической фазе также не увеличилось, оставаясь на уровне ~17%. Причиной неполного разделения послужила высокая вязкость шлака и низкая текучесть, обусловленная соотношением шлак/металл.

### Выводы

1. Установлено, что никель в труднообогатимых рудах находится в химически устойчивых силикатных фазах, а железо – в более реакционноспособных оксидах.
2. Восстановление водородом при 1100 °С эффективно для железосодержащих фаз, но не для кремний- и хромсодержащих.
3. Добавление извести способствует лучшему восстановлению никеля и железа за счёт ионного замещения, однако снижает эффективность последующего плавления и разделения.
4. Установлено, что мокрая магнитная сепарация восстановленного водородом продукта никелевой руды при магнитной индукции 220 мТ является технологически целесообразной и обеспечивает разделение материала на магнитную и немагнитную фракции. Полученные результаты свидетельствуют о возможности использования магнитной сепарации в качестве стадии предварительного обогащения восстановленных никелевых руд.
5. Повышение температуры до 1650 °С улучшает перераспределение никеля в металлической фазе, особенно без добавления извести, что делает возможным получение ферроникелевого сплава с высоким содержанием Ni (до 41,66%).

*Работа выполнена при финансовой поддержке Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан, грант № AP23489015.*

### Источники

- 1 Абілберікова А. А., Есенгалиев Д.А., Қуатбай Е.Қ., Келаманов Б.С., Бензесик К. Моделирование восстановления латеритной никелевой руды месторождения «Батамша» газообразными восстановителями в программном комплексе HSC Chemistry 10 // Наука и техника Казахстана. – 2025. – С. 193-208.
- 2 Mizernaya M. A. et al. Analysis of the mineral resource of Kazakhstan //International Multidisciplinary Scientific GeoConference: SGEM. – 2024. – Т. 2024. – №. 1.1. – С. 11-18.
- 3 Kelamanov B. et al. Research possibility of involvement Kazakhstani nickel ore in the metallurgical treatment //Metalurgija. – 2021. – Т. 60. – №. 3-4. – С. 313-316.
- 4 Dyachkov B. A. et al. Laws of formation and criteria for predicting nickel content in weathering crusts of east Kazakhstan //Journal of the Geological Society of India. – 2017. – Т. 89. – №. 5. – С. 605-609.

УДК 669.168

## ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССА НАГРЕВА ХРОМОВОГО СЫРЬЯ И СМЕСИ С ВОССТАНОВИТЕЛЯМИ

Акуов А.М.<sup>1</sup>, Байсанов А.С.<sup>1</sup>, Мусина И.Б.<sup>1</sup>, Байсанова А.М.<sup>1</sup>,  
Абдулабеков Е.Э.<sup>2</sup>, Алмагамбетов М.С.<sup>3</sup>, Келаманов Б.С.<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Филиал РГП «НЦ КИМС РК» «ХМИ им. Ж. Абишева», г. Караганда, Казахстан,

<sup>2</sup> Актюбинский завод ферросплавов – филиал АО «ТНК «Казхром», Казахстан,

<sup>3</sup> ТОО «Научно-исследовательский инжиниринговый центр ERG», Казахстан,

<sup>4</sup> НАО «Актюбинский региональный университет имени К. Жубанова», Казахстан

Хромовую руду используют преимущественно в трех отраслях промышленности: металлургической, химической и при производстве огнеупоров. Из указанных отраслей, что безусловное лидерство по объему потребления хромовых руд принадлежит металлургии.

В металлургии добавка хрома позволяет повысить прочность, стойкость против коррозии и сопротивление окислению железа, никеля и прочих металлов в составе стали. Для легирования железных сплавов хром применяют в виде феррохрома с содержанием около 70% хрома. Основная номенклатура феррохрома включает следующие группы сплавов: высокоуглеродистый, среднеуглеродистый и низкоуглеродистый. Высокоуглеродистый феррохром можно использовать для введения хрома в низколегированные стали, в состав которых входят хром и углерод. Однако, он непригоден для выплавки некоторых высокохромистых сталей, например, аустенитных «нержавеющих», в которых большое содержание углерода не допустимо. В подобных сталях хром, обладая высоким сродством к углероду, образует карбид  $\text{Cr}_{23}\text{C}_6$ , который при определенных температурах выпадает преимущественно по границам зерен. Благодаря большой величине отношения  $\text{Cr}/\text{C}$  для этого карбида образование последнего приводит к обеднению хромом участков, расположенных рядом с границами. Выпадение частиц карбида при определенных условиях приводит к избирательной коррозии на обедненных хромом участках и делает сталь хрупкой. После того как выяснилось, что содержание углерода в высокохромистых сталях должно быть как можно ниже, возник спрос на легирующий сплав – низкоуглеродистый феррохром [1].

Низкоуглеродистые марки феррохрома ( $\text{C} \leq 0,50\%$ ) используются в основном при выплавке коррозионностойких хромоникелевых и хромистых (суперферритных) сталей, функциональные свойства которых во многом определяются содержанием в них примесных элементов и прежде всего углерода. В этой связи потребители низкоуглеродистого феррохрома обоснованно предъявляют жесткие требования к его качеству, как по содержанию ведущего элемента – хрома, так и примесей (углерода, фосфора, серы, азота, кислорода, водорода и примесей цветных металлов) [2].

Как известно [2-4], рафинированные сорта феррохрома (содержание углерода менее 2%) производят металлургическими способами. В связи с этим термографическому исследованию были подвергнуты хромовый концентрат, и шихты в смеси с различными восстановителями. Цель нагрева хромового концентрата с восстановителями включает выявление температур процессов:

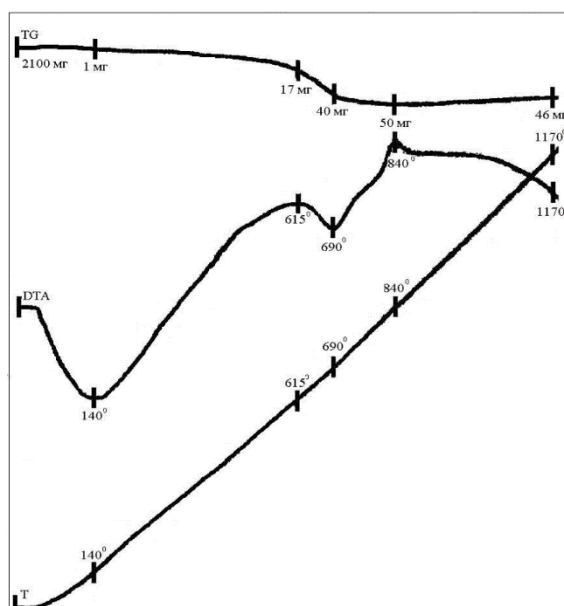
1. Удаление влаги и летучих веществ;
2. Разложение минералов руды;
3. Активация восстановителя;
4. Начало восстановительных реакций;
5. Улучшение диффузии и контакта реагентов;
6. Ускорение кинетики восстановления.

Практическая ценность изучения процесса нагрева руды с восстановителем заключается в:

1. Определении температур начала основных реакций;
2. Расчёте теплового баланса процесса;
3. Выборе оптимального восстановителя;
4. Изучении кинетики восстановления.

Термографические исследования указанных материалов проводились на дериватографе системы F. Paulik, J. Paulik, L. Erdei Derivatograph Q=1000 в диапазоне температур 25-1000°C с шагом нагрева 10°C/мин. Измерение велось с применением платина-платинородиевой термопары. Исследования проводили в окислительной атмосфере. На дериватограммах данные анализа показаны в виде термогравиметрических (TG) и дифференциально-термоаналитических (DTA) кривых.

Процессы, протекающие в концентрате при нагревании (рисунок 1), сопровождаются дегидратацией гигроскопической влаги с уменьшением массы пробы на 1 мг (0,05%) в интервале температур 130-150°C. Удаление гидратной влаги происходило при температуре 615°C с экзотермическим эффектом.

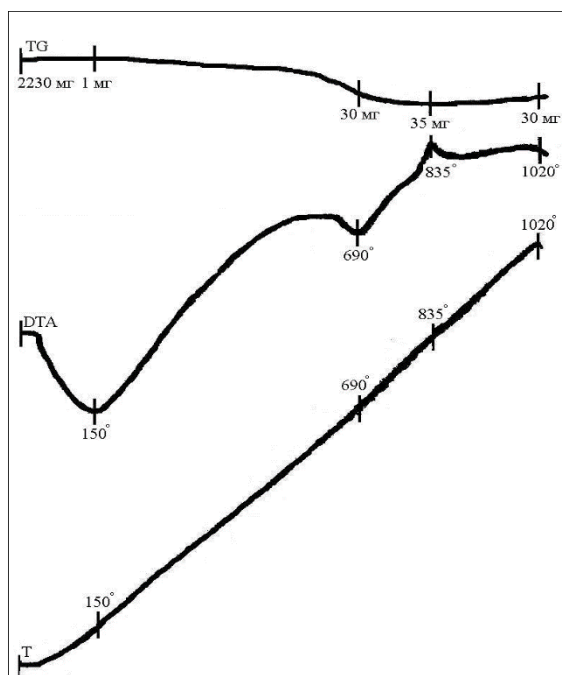


**Рисунок 1 – Дериватограмма хромового концентрата**

Убыль веса при этой температуре составляла 17 мг (0,81%). При температуре 690°C наблюдается эндотермический эффект с убылью массы пробы на 40 мг (1,90%). Этот отрезок температуры 615-690°C, по-видимому, представляет начало и конец процесса удаления гидратной влаги. В интервале температур 830-850°C отчетливо зафиксирован экзотермический эффект, убыль веса составила 50 мг (2,38%). Дальнейшее повышение температуры до 1000°C приводит к потере веса в количестве 40 мг (1,90%).

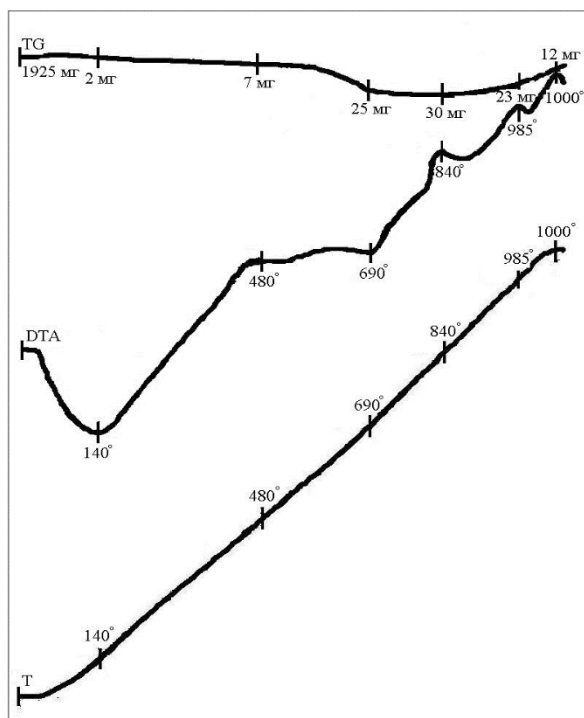
Дериватограмма шихтовой смеси, состоящей из хромового концентрата и кремнистого восстановителя в виде ферросиликохрома, приведена на рисунке 2. Эндотермический максимум при температурах 140-160°C характеризует выделение естественной влаги. Следует предполагать, что процессы дегидратации «структурной» воды и диссоциации сложных соединений концентрата происходили в интервалах температур 670-710°C с убылью массы 30 мг (1,34%). Дальнейшее повышение температуры повторяет предыдущую картину (рисунок 1), аналогичную дериватограмме концентрата. Это обусловлено тем, что процессы взаимодействия хромового концентрата и кремнистого восстановителя происходят при более высоких температурах. Исходя из пределов рабочей температуры установки, выбранный нами

температурный интервал в пределах 25-1000°C недостаточен для определения термических превращений исследуемой шихты.



**Рисунок 2 – Дериватограмма шихты  
(хромовый концентрат + кремнистый восстановитель)**

На рисунке 3 представлена дериватограмма шихты, состоящей из хромового концентрата и кремнеалюминиевого восстановителя, в данном случае использован комплексный сплав АХС (алюминий-хром-кремний).



**Рисунок 3 – Дериватограмма шихты  
(хромовый концентрат + кремнеалюминиевый восстановитель)**

Участок на кривой ДТА с эндотермического максимума (140°C) до температур слабого экзотермического максимума 470-500°C представляет процессы выделения гигроскопической и гидратной влаги, сопровождаемое убылью веса на 2 мг (0,10%) и 7 мг (0,36%), соответственно. Эндотермический максимум при температурах 680-700°C и экзотермический максимум при температурах 830-850°C с резкими убылями веса пробы на 25 мг (1,29%) и 30 мг (1,56%) соответственно, повторяют картину предыдущих дериватограмм. Эти данные показывают, что процессы в вышесказанных объектах происходят в концентрате. Дальнейшее повышение температуры с экзотермическими максимумами 985°C, 1000°C ведет к плавному увеличению веса на 23 мг (1,19%) и 12 мг (0,62%) соответственно, что, по-видимому, связано с окислением компонентов восстановителя оксидами концентрата и началом процесса восстановления.

Таким образом, полученные данные нагрева могут быть использованы при изучении процессов в пирометаллургической переработке хроморудного сырья. Динамика фазовых превращений в концентрате отчетливо продемонстрирована во всех дериватограммах, а активное взаимодействие концентрата с восстановителями при исследуемых интервалах температур не наблюдается. В исследованном интервале температур общая потеря веса концентрата составляет 148 мг (7,04%), шихты состоящей из хромового концентрата и кремнистого восстановителя – 120 мг (5,38%) и состоящей из хромового концентрата и кремнеалюминиевого восстановителя 99 мг (5,14%). Необходимо отметить, что на дериватограмме нагрева шихты из концентрата и кремнеалюминиевого восстановителя отражены дополнительных 2 экзотермических максимумов, показывающих раннее начало процессов взаимодействия компонентов восстановителя с концентратом, которое отсутствует на дериватограмме шихты из концентрата и кремнистого восстановителя.

### **Источники**

- 1 Салли А. Хром. Перевод с англ. –М: Metallurgizdat, 1958. – 291 с.
- 2 Лякишев Н.П., Гасик М.И. Metallургия хрома. – М.: ЭЛИЗ, 1999. – 554 с.
- 3 Хитрик С.И. и др. Электromеталлургия феррохрома. – М: Metallургия, 1968. – 148 с.
- 4 Рысс М.А. Производство ферросплавов. – М: Metallургия, 1985. – 344 с.

УДК 669.2/.8

**ОБЗОР МЕТОДОВ ДЕСОРБЦИИ ЗОЛОТА ИЗ НАСЫЩЕННЫХ АНИОНИТОВ****Алтынбек Ш.Ч.***Филиал РГП «НЦ КИМС РК» ГНПОПЭ «Казмеханобр», г. Алматы, Казахстан*

Регенерация сорбентов представляет собой наиболее ответственный этап в сорбционной технологии получения золота. Эффективность данной стадии оценивается по двум критериям: степени десорбции драгоценных металлов и уровню восстановления кинетических и емкостных характеристик сорбента, что непосредственно влияет на рентабельность всего цикла переработки.

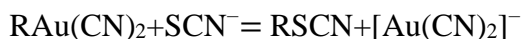
При перемещении навстречу потоку пульпы сорбент теряет активность из-за насыщения металлами и закупорки пор примесями (кремнезем, органика). Снижение емкости до минимума делает невозможным дальнейшее извлечение золота, обуславливая необходимость этапа десорбции и регенерации.

Целью регенерации является максимальная десорбция благородных металлов и очистка сорбента от аккумулированных примесей. Процесс элюирования должен обеспечивать высокую концентрацию золота и серебра в элюатах, что оптимизирует последующее осаждение и гарантирует получение готовой продукции высокого качества.

Эволюция методов регенерации ионообменных смол в гидрометаллургии золота обусловлена поиском баланса между полнотой извлечения металла, сохранением сорбционной емкости ионита и экологической безопасностью процесса.

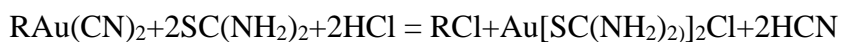
Первые попытки интенсификации десорбции [1] были основаны на применении смесей органических растворителей (ацетон, спирты) с минеральными кислотами. Теоретическим обоснованием метода являлось формирование ковалентной связи аниона  $[\text{Au}(\text{CN})_2]^-$  с растворителем в кислой среде. Несмотря на высокую степень десорбции золота (до 100 %), метод не получил широкого внедрения из-за высокой огнеопасности, плохой десорбции примесей (Ag, Cu, Fe) и высокой стоимости реагентов (например, глицериновых систем Ивановского и Урусовой).

Применение роданидов ( $\text{KSCN}$ ,  $\text{NaSCN}$ ,  $\text{NH}_4\text{SCN}$ ) в щелочной среде [2] позволило проводить процесс при комнатной температуре по механизму анионного обмена:



Однако схема выявила серьезные экономические недостатки: переход анионита в  $\text{SCN}^-$ -форму снижал его последующую сорбционную активность; для возвращения смолы в рабочий цикл требовалась промывка огромными объемами серной кислоты (до 500 удельных объемов).

На сегодняшний день наиболее эффективным десорбентом дицианаурат-иона признаны слабокислые растворы тиомочевины (ТМ). Высокая элюирующая способность ТМ объясняется сменой знака заряда комплекса золота из анионного он переходит в катионный, который не удерживается анионитом [3]:



Технологические параметры: оптимальный состав: 80-90 г/л ТМ + 20-25 г/л  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ; температурный режим: 50-60 °С (ограничен термостойкостью смол).

Преимущества: высокая концентрация золота в первых 4-6 объемах элюата.

Недостатки: выделение токсичного HCN, необходимость использования кислотостойкого оборудования и сложность многооперационной схемы (до 300 часов на полный цикл).

Казмеханобром была разработана комбинированная технологическая схема регенерации анионита АМ-2Б, которая устраняет часть перечисленных недостатков и существенно снижает затраты на регенерацию [4].

Комбинированная схема состоит из двух стадий: на первой стадии процесса из смолы АМ-2Б элюируются ионы примесных металлов щелочными растворами роданида натрия, на второй стадии- элюирование золота кислыми растворами тиомочевины. Исследованиями было установлено, что использование элюирующего раствора, содержащего 1 % NaSCN + 2% NaOH при температуре 60°C и соотношении объемов смолы и раствора 1:10 можно вывести из фазы смолы более 90 % металлов примесей, сконцентрировав золото в ионите. Затем с целью вывода из фазы смолы сорбированных рожанид-ионов и оставшихся металлов-примесей смола обрабатывается растворами 5%-ной серной кислоты.

На второй стадии смола вначале обрабатывается 4%-ным раствором тиомочевины, в результате которой из смолы элюируется медь и происходит насыщение ионита тиомочевинной. После этого проводится десорбция золота 10%-ным раствором тиомочевины. При таких условиях селективно извлекается медь и затем золота. Для передачи регенерированной смолы на сорбцию требуется перевод смолы из SO<sub>4</sub>-формы в OH-форму, для чего проводится заключительная щелочная обработка смолы.

Для осуществления комбинированной схемы был разработан, изготовлен и испытан аппарат конусного типа с углом конусности 30°, что позволило реализовать комбинированную схему в периодическом режиме за 80 часов вместо 250 час по схеме Ласкорина.

Технико-экономический расчет реализации комбинированной схемы показал, что экономический эффект достигается за счет снижения расхода тиомочевины, использованием двух аппаратов конусного типа вместо 16 колонн из титанового сплава, сокращением объема площади для установки 2-х аппаратов.

## Источники

- 1 Burstall F., Wells R. Ion exchange and its applications. – London: Soc. Chem.Ind., 1955. – P. 83-87
- 2 Davison I., Rida A. Trans. Inst. Min. Met. 1960/1961. Vol.70. – P.737-739
- 3 Барченков В.В. Обогащительные и гидрометаллургические процессы извлечения золота из руд. – Владимир: Транзит-ИКС, 2022. – 544 с.
- 4 Алтынбек Ш.Ч. Разработка комбинированной технологии десорбции золота из насыщенных смол в присутствии металлов-примесей. – Алматы: Диссертационная работа, 2018. – С. 43-95

УДК 621.742.48

## ПОДБОР СВЯЗУЮЩЕГО ДЛЯ ОКОМКОВАНИЯ КЕКА СЕРНОКИСЛОТНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ ВАНАДИЕВЫХ КВАРЦИТОВ

Бадикова А.Д.<sup>1</sup>, Шевко В.М.<sup>1</sup>, Айткулов Д.К.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Южно-Казахстанский университет им. М. Ауэзова, г. Шымкент, Казахстан

<sup>2</sup>РГП «НЦ КИМС РК», г. Алматы, Казахстан

При переработке ванадиевых черносланцевых кварцитов автоклавным сернокислотным выщелачиванием образуется отход-кек, составляющий около 80% от руды [1]. Кек – черное, мелкодисперсное вещество с размерами частиц  $\leq 0,2$  мм и содержанием до 80%  $\text{SiO}_2$ , 15-19% С и незначительным (0,08-0,1%) V [1,2]. Высокое содержание оксида кремния и углерода в кеке, делает этот материал перспективным сырьем для получения кремнистых ферросплавов. В виду того, что мелкодисперсная фракция кека может привести к снижению эффективности процесса, затруднениям в подаче материала в печь, неравномерному распределению материала в печи, ухудшению газопроницаемости шихты прямое использование кека в процессе плавки ферросилиция является нецелесообразным. В связи с этим кек подлежит обязательной предварительной подготовке. В виду мелкофракционной структуры, низкой пластичности и плохой комкуемости, кек не обладает способностью самостоятельного окомкования. Поэтому для окомкования необходимо использование связующих компонентов.

Наиболее распространёнными представителями органических связующих являются тяжёлые нефтепродукты - мазут и остаточные масла, каменноугольные и нефтяные пеки, различные смолы, а также природные и модифицированные полисахариды, такие как крахмал и патока, торф. К категории неорганических связующих относятся глинистые минералы, например, каолин, бентонит, водные растворы силикатов, например, жидкое стекло, а также цементные материалы [3,4], гашеная известь, хлорид кальция, хлорид натрия, сульфат железа, железные и марганцевые глинистые руды [5]

Лигносульфонаты (сульфитно-спиртовая барда), образующееся как побочный продукт целлюлозно-бумажной промышленности, и жидкое стекло, считаются лучшими связующим для материалов с высоким содержанием кремния [6]. Несмотря на это высокая стоимость делает их применение экономически не всегда оправданным. В связи с этим была исследована возможность применения альтернативных связующих.

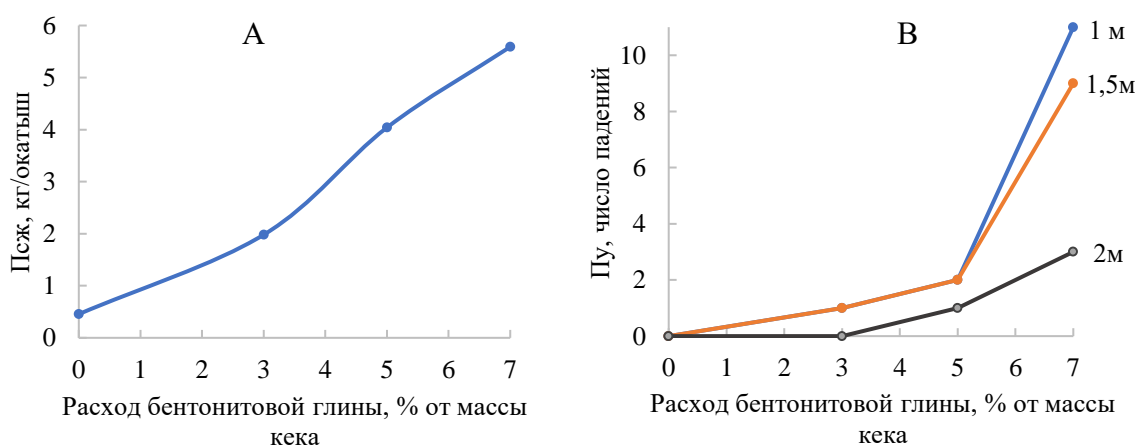
В статье приводятся результаты исследований прочностных характеристик окатышей, полученных из кека автоклавного выщелачивания ванадиевых кварцитов с использованием нескольких видов органических и неорганических связующих.

В работе использовали сырье содержащее, масс.%, кек автоклавного сернокислотного выщелачивания ванадийсодержащих кварцитов месторождения Баласаускандык (72,5  $\text{SiO}_2$ , 1,3  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , 1,4  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , 1,0 CaO, 0,15  $\text{V}_2\text{O}_5$ , 0,2 MgO, 3,0  $\text{H}_2\text{O}$ , 0,15 BaO, 19 C); бентонитовую глину Таганского месторождения (56,65  $\text{SiO}_2$ , 0,46  $\text{TiO}_2$ , 17,14  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , 4,61  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , 2,19 CaO, 2,55 MgO, 0,24  $\text{K}_2\text{O}$ , 0,38  $\text{Na}_2\text{O}$ , 8,81  $\text{H}_2\text{O}$ , 11,89 ППП, 0,21  $\text{SO}_3$ ); жидкое стекло ТОО «Ван-Групп» (24-30  $\text{SiO}_2$ , 9-13  $\text{Na}_2\text{O}$ , 60-70  $\text{H}_2\text{O}$ ); соапсток ТОО «Арай» (35-45 нейтральные масла и соли жирных кислот, 45-55 вода, 2-3 нежировые органические вещества); цемент ТОО «Стандарт цемент» (63,5-66,0 CaO, 20,5-23,0  $\text{SiO}_2$ , 4,5-5,5  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , 3,5-4,8  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , 1,2-3,0 MgO, 0,5-2,5  $\text{SO}_3$ , до 1,0  $\text{Na}_2\text{O}$  +  $\text{K}_2\text{O}$ , до 2,0 ППП); патока ТОО «Аксуский сахарный завод» (45-50 сахароза, 20-25  $\text{H}_2\text{O}$ , 10-15 органические вещества, 7-10 зола, 7-10 азотистые соединения); лигносульфонат АО «Соликамскбумпром» (50-92 полимеры лигнина, 7-10 редуцирующие сахара, 20-25 зола).

Кек, предварительно измельченный до однородной фракции, смешивали со связующим. Затем в смесь добавляли дистиллированную воду и вручную готовили сырые окатыши массой 2,5-3 г (диаметр 9-10 мм). Затем их сушили в шкафу (Binder, Германия) в течение 1,5 ч при 120 °С. После охлаждения в эксикаторе окатышей определяли прочность на удар ( $P_y$ ) и прочность на сжатие ( $P_{сж}$ ). Сжатие приводили на гидравлическом прессе ПГМ-100 («СКБ Стройприбор», Россия) и приборе ИПГ-1М (АО «УНИХИМ с ОЗ», Россия). Прочность на удар определяли по числу падений с постоянной высоты (1, 1,5 и 2 м) на металлическую поверхность до первого разрушения.

Экспериментально установлено, что добавление 20% воды от массы кека обеспечивает необходимую пластичность и получение окатышей заданной формы. При количестве воды <15% адгезионные свойства смеси ухудшаются, окатыши формируются с трудом. При добавлении воды >35% смесь становится жидкой, окатыши не сохраняют форму и расплываются под собственным весом. Для брикетирования допускается меньшее количество воды, поскольку дополнительное давление компенсирует недостаточную пластичность и обеспечивает высокую прочность брикетов даже при меньшем содержании влаги [7].

Бентонитовую глину вводили в количестве 3-7% от массы кека. Количество воды было постоянным – 25% от массы кека. Прочностные характеристики сухих окатышей показаны на рисунке 1. Видно, что без добавления бентонитовой глины сухие окатыши разрушаются с первого сбрасывания и выдерживают давление только 0,455 кг. Добавление бентонитовой глины повышает прочность: при расходе 7% глины она достигает 5,59 кг/окатыш, что в 12,3 раза выше, чем без глины (0,455 кг/окатыш). Повышение расхода бентонитовой глины >7% приводит к незначительному увеличению прочности окатышей.



А – прочность на сжатие, В – прочность на удар

**Рисунок 1 – Прочностные характеристики окатышей с бентонитовой глиной**

**Жидкое стекло** применяли в количестве 5-40% от массы кека. Результаты прочности окатышей приведены в таблице 1. При добавлении до 20% жидкого стекла (в присутствии воды) окатыши имели низкую механическую прочность и разрушались уже после одного сброса.

Окатыши без добавления воды, но при расходе жидкого стекла 30-40%, отличались высокой прочностью на сжатие. При этом они сохраняли целостность даже после 100 сбрасываний с высоты 2 м. Несмотря на удовлетворительные показатели прочности, стоимость жидкого стекла 220 000 тн/т ограничивает его применение.

**Таблица 1 – Прочность на сжатие, кг/окатыш**

Кек, г	Вода, % к кеку	Жидкое стекло, % к кеку	Номинальная влажность окатыша, %	Прочность на сжатие, кг/окатыш
100	25	5	21,7	0,6-0,84 (0,72*)
100	25	10	23,2	0,67-1,36 (0,88)
100	25	15	24,6	1,54-2,08 (1,71)
100	25	20	25,9	1,0-2,12 (1,78)
100	-	30	14,5	22-56 (39)
100	-	40	18,0	35,1-80 (57,5)

\*) – среднее значение

Соапсток влажностью 30-50% вводили в количестве 16-34% от массы кека. Результаты прочности окатышей приведены в таблице 2. Использование только соапстока, как связующего, обеспечивало прочность до 0,62 кг/окатыш, однако при сушке 120 °С на поверхности появлялись трещины. Разбавление соапстока водой (1:1) повышало пластичность смеси и облегчало формирование окатышей, но статическая прочность оставалась низкой- при сбросе с высоты 1 м окатыши полностью разрушались за один раз.

**Таблица 2 – Прочность окатышей на сжатие, кг/окатыш**

Вода, %	Расход соапстока, %	П <sub>сж</sub> , кг/окатыш
-	34	0,60-0,62
16	16	0,56-0,75

**Цемент** применяли в количестве 5-20%, а количество воды 20% от массы кека. Даже при максимальной концентрации цемента окатыши оставались хрупкими: прочность на сжатие составляла лишь 1,09 кг/окатыш (таблица 3), а прочность на удар была недостаточной для практического применения.

**Таблица 3 – Прочность окатышей на сжатие, кг/окатыш**

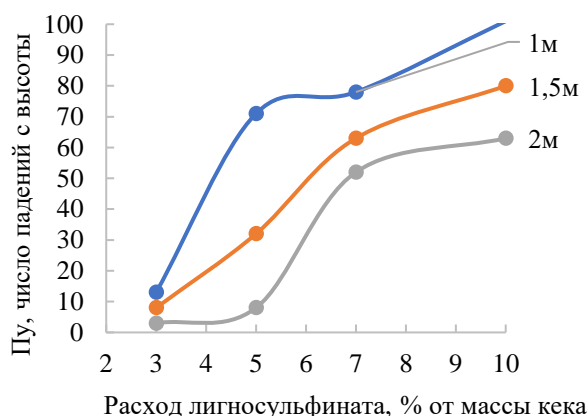
Расход цемента, % от массы кека	5	10	15	20
П <sub>сж</sub> , кг/окатыш	0,67	0,77	0,89	1,09

Лигносulfонат влажностью  $\leq 4\%$  вводили в количестве 3-10% от массы кека. Для обеспечения пластичности и формовки количество воды корректировали по мере увеличения доли сухого связующего. Из таблицы 4 следует, что, с увеличением расхода прочность на сжатие окатышей резко повышается более чем в 5 раз выше: при 3% составляет 3,83 кг/окатыш, при 10% – 21,05 кг/окатыш. Прочность окатышей на удар приведена на рисунке 2. Видно, что при 3% связующего окатыши выдерживают до 8 сбрасываний с высоты 1,5 м. Несмотря на высокие прочностные характеристики, использование лигносульфоната экономически нецелесообразно из-за его высокой стоимости – 550 000 тн/т [8].

**Таблица 4 – Прочность окатышей на сжатие, кг/окатыш**

Вода, % от массы кека	Расход лигносульфонат, % от массы кека	Прочность на сжатие, кг/окатыш
24	3	2,81-4,85 (3,83*)
24	5	3,76-9,20 (6,48)
26	7	11,29-17,12 (14,21)
28	10	18,20-23,90 (21,05)

\*) – среднее значение

**Рисунок 2 – Прочность на удар, число падений с высоты**

Патоку применяли в виде водного раствора концентрацией 20-80%. Использование патоки без добавления воды осложняет окомкование из-за высокой липкости (адгезии), а после сушки при 120 °С в течение 1,5 ч – окатыши расплющиваются под давлением. Полученные результаты прочности окатышей на сжатие с использованием патоки приведены в таблице 5. Исследования показали, что раствор с высокой концентрацией патоки становится слишком вязким. Это приводит к тому, что его распределение по массе кека затруднено – так как воды в нем мало и для формирования окатышей требуется механическое усилие. Обратная ситуация наблюдается при использовании раствора с низкой концентрацией патоки. Несмотря на большой расход раствора (35% от массы кека), низкая концентрация патоки делает раствор слишком жидким. Это приводит к переувлажнению смеси, что препятствует формированию устойчивых окатышей.

**Таблица 5 – Прочность окатышей на сжатие, кг/окатыш**

Кек, г	Расход раствора, % от массы кека	Концентрация патоки, % (соотношение патока:вода)					
		20 (1:4)	33,3 (1:2)	50 (1:1)	66,6 (2:1)	75(3:1)	80 (4:1)
100	30	1,98	5,5	17,0	29,2	30,6	39,5
100	32,5	1,99	5,6	19,0	29,5	32,5	50,0
100	35	2,70	8,6	22,2	30,5	37,9	70,0

Из таблицы 5 видно, что прочность окатышей повышается с увеличением концентрации патоки. Увеличение расхода раствора также повышает прочность окатышей, особенно при концентрациях  $\geq 66,6\%$  и выше. Определена прочность на удар (таблица 6). Видно, что окатыши на растворе с концентрацией патоки  $\geq 50\%$

обеспечивают максимальную прочность, делая окатыши устойчивыми даже к сильным механическим нагрузкам.

**Таблица 6 – Прочность окатышей на удар, число падений с высоты**

Высота, м	Концентрация патоки, %			
	20	33,3	50	66,6
1	27	46	>100	>100
1,5	17	41	>100	>100
2	6	9	>100	>100

Для определения оптимального количества патоки и ее концентрации для формирования окатышей из кека с высокими прочностными характеристиками исследования провели методом рототабельного планирования эксперимента второго порядка [9-11]. В таблице 7 приведена матрица планирования и ее результаты. На основании которых получили адекватное уравнение регрессии, используя которое в соответствии с [12], получили 3D модель и ее горизонтальный разрез. Независимыми факторами были концентрация патоки в растворе, % и массовая доля раствора к кеку, %.

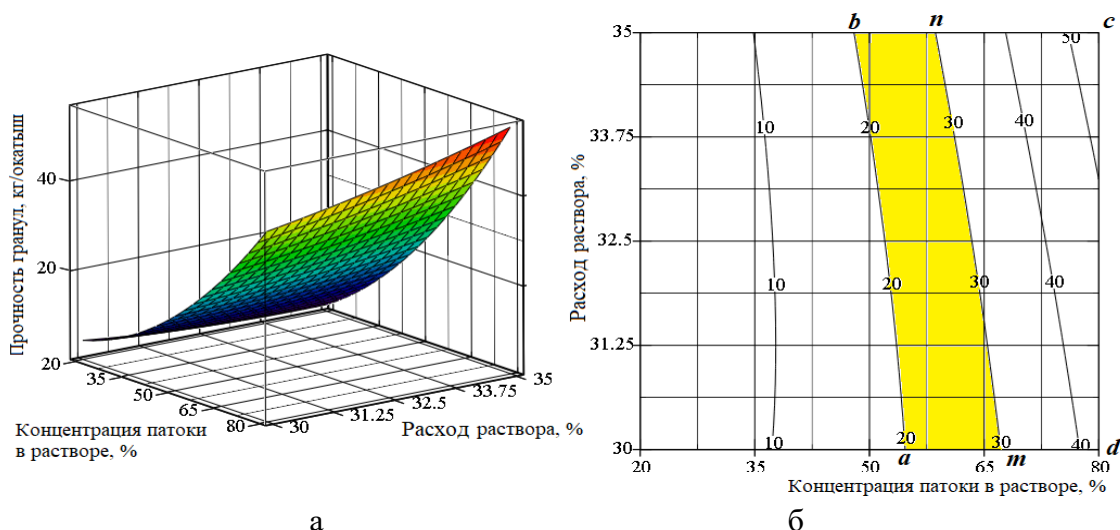
**Таблица 7 – Матрица планирования исследований и их результаты**

№	Переменные				П <sub>сж (эксп)</sub> , кг/окатыш	П <sub>сж (расч)</sub> , кг/окатыш
	Кодированные		Натуральные			
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	Концентрация патоки в растворе (КП), %	Расход раствора (Р), %		
1	-1	-1	28,7	30,73	5,7	6,0
2	+1	-1	71,3	30,73	33,0	34,9
3	-1	+1	28,7	34,27	6,6	6,2
4	+1	+1	71,3	34,27	41,0	42,1
5	1,414	0	80,0	32,50	50,0	48,2
6	-1,414	0	20,0	32,50	2,0	2,4
7	0	1,414	50,0	35,00	22,2	22,0
8	0	-1,414	50,0	30,00	18,0	16,7
9	0	0	50,0	32,50	18,8	18,5
10	0	0	50,0	32,50	19,5	18,5
11	0	0	50,0	32,50	17,6	18,5
12	0	0	50,0	32,50	18,5	18,5
13	0	0	50,0	32,50	18,1	18,5

На основании данных таблицы 7 получены следующие адекватные уравнения регрессии второго порядка:

$$P_{сж(эксп)} = 199,066 - 1,646 \cdot КП - 10,735 \cdot Р + 7,53 \cdot 10^{-3} \cdot КП^2 + 0,14 \cdot Р^2 + 0,051 \cdot КП \cdot Р \quad (1)$$

Адекватность полученной математической модели эксперименту проверялась по критерию Фишера. Табличное значение критерия Фишера (F<sub>T</sub>) составляет 6,59, а расчетное значение (F<sub>P</sub>) равно 6,21. Так как F<sub>P</sub> < F<sub>T</sub> уравнение (1) является адекватным эксперименту.



**Рисунок 3 – 3D модель (а) и ее горизонтальный разрез (б) влияния концентрации патоки и массовой доли раствора на прочность окатышей при сжатии, кг/окатыш**

Из рисунка 3(б) видно, что при постоянной концентрации патоки увеличение расхода патоки от 30 до 35% незначительно (особенное при концентрации патоки 20-50%) влияет на прочность окатышей. Основным фактором, влияющим на прочность окатышей является концентрация патоки. Так, при расходе 30% раствора увеличение концентрации от 20 до 80% повышает прочность окатышей на сжатие почти в 10 раз (от 4,6 до 42,7кг/окатыш).

Современная доменная печь высотой 35 м имеет высоту шихты  $\approx 35 \cdot 0,75 = 26,2 \approx 26$  м [13]. Для доменного процесса окатыши должны иметь прочность на сжатие не менее 200 кг/окатыш [14]. Руднотермические электропечи для выплавки ферросплавов имеют гораздо меньшую высоту шихты. Так по [15] у ферросплавной электропечи РКЗ-33МВ·А [16] высота шихты оставляет  $\approx 2,5$  м. Тогда минимальная прочность окатыша на сжатие для ферросплавной печи составляет  $> 200 / (26 / 2,5) > 19,08$  кг/окатыш, т.е.  $\approx 20$  кг/окатыш. На рисунке 3(б) показана область с прочностью окатыша на сжатие  $> 20$  кг (abcd). С учетом создания резервной прочности в 1,5 раза, то есть до 30 кг/окатыш. Область концентрации патоки и ее расхода находятся в плоскости amnb, то есть при расходе 30-35% раствора патоки от массы кека с концентрацией ее в растворе от 48 до 68%. Для получения окатышей из кека с прочностью 20-30 кг/окатыш, предназначенных для электротермического производства ферросилиция, в качестве связующего следует использовать 48-68% водный раствор потока с расходом 30-35% от массы кека. Целесообразность использования патоки для грануляции кека связана так же и с тем, что она обладает низкой ценой – 35000 тенге за 1 тонну [17].

На основании проведенных исследований по получению сухих окатышей из кека сернокислотного выщелачивания ванадиевых кварцитов можно сделать следующие выводы:

1. Из-за низкой прочности сухих окатышей на сжатие 0,75, 1,1 и 5,59 кг/окатыш использование соответственно соапстока, цемента и бентонитовой глины в качестве связующего является нецелесообразным

2. Несмотря на высокую прочность сухих окатышей на сжатие (8-23,3 кг/окатыш) и высокую прочность на удар (35-80 и 50-100 сбрасываний с 2м без разрушений) использование соответственно жидкого стекла и лигносульфоната в качестве связующего не рекомендуется из-за высокой стоимости.

3. Оптимальным связующим является патока, которая при низкой цене (35000 тн/т) обеспечивает сухим окатышам прочность до 70 кг/окатыш и высокую прочность на удар  $> 100$  сбрасываний с 2м без разрушений.

4. Для получения окатышей из кека прочностью 20-30 кг/окатыш для электротермического получения ферросилиция в качестве связующего необходимо использовать 48-68% водный раствор потоки с расходом от 30 до 35% от массы кека.

### Источники

- 1 Komekova N.M., Kozlov V.A., Smirnov K.M., Shayakhmetova R.A., Nesterov K.N. Autoclave leaching of vanadium from black shale // Metallurgist. -2017. -Vol. 60. -P.-1186-1190.
- 2 Kenzhaliyev B.K., Surkova T. Yu, Azlan M.N., Yulusov S.B., Sukurov B.M., Yessimova D.M. Black shale ore of Big Karatau is a raw material source of rare and rare earth elements// Hydrometallurgy. -2021. -Vol.205. - 105733 <https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2021.105733>
- 3 Бабанин В.И., Еремин А.Я., Бездежский Г.Н. Разработка и внедрение новой технологии брикетирования мелкофракционных материалов с жидким стеклом // Metallurg. - 2007. - № 1. - С. 68-71
- 4 Naimanbayev M. A., Lokhova N. G., Abisheva A. E., Maldybayev G. K., Barkytova B. N. Effect of some conditions of charge preparation on zinc distillation from oxidized ore // Complex Use of Mineral Resources. -2017. -N.1. -С. 40-46.
- 5 Першуков А. А., Соболев А. В. Справочник рабочего фабрики окомкования. - Челябинск : Metallurgiya, 1988 . - 239 с.
- 6 Телешев К.Ж. Исследование и разработка процесса сушки и упрочнения гранулированной медной шихты в жалюзийной шахтной печи: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.16.03. - Караганда, 1997. - 26 с.
- 7 Venter P., Naude N. Evaluation of some optimum moisture and binder conditions for coal fines briquetting// J. S. Afr. Inst. Min. Metall. -2015. vol.115. -N.4. -pp.329-333.
- 8 Лигносульфонаты технические // Flagma.kz URL: <https://flagma.kz/lignosulfonaty-tehnicheskije-o1852525.html> (дата обращения: 20.01.2026).
- 9 Ахназарова С.Л., Кафаров В.В. Методы оптимизации эксперимента в химической технологии. - М.: Высш. шк, 1985.- 327 с.
- 10 Глухих В.В., Шкуро А.Е., Артемов А.В. Математическое планирование экспериментов и анализ их результатов с применением компьютерных программ. - Екатеринбург: УГЛТУ, 2023.
- 11 Инков А.М., Тапалов Т., Умбетов У.У., Ху Вен Цен В., Ахметова К.Т., Дьякова Е.Т. Методы оптимизации: электронная книга. -Шымкент: ЮКГУ, 2003.
- 12 Очков В.Ф. Mathcad 14 для студентов, инженеров и конструкторов. - СПб.: БХВ-Петербург, 2007. - 368с.
- 13 Каплун, Л. И., Малыгин А. В., Онорин О. П., Пархачев А. В.; Устройство и проектирование доменных печей : учебное пособие. - Екатеринбург : Издательство Уральского университета, 2016. - Екатеринбург : УрФУ, 2016. - 219с
- 14 Тимофеева А.С., Никитченко Т.В., Федина В.В., Елисеева К.А. Влияние ударных нагрузок на прочность железорудных окатышей. Известия высших учебных заведений. Черная Metallurgiya. -2016. -N59(12). -С.847-851. <https://doi.org/10.17073/0368-0797-2016-12-847-851>
- 15 Конструкция ферросплавных печей // Черная и цветная металлургия URL: <https://metallolome.ru/konstrukciya-ferrosplavnyh-pechej/> (дата обращения: 15.01.2026).
- 16 Воскобойников В.Г., Кудрин В.А., Якушев А.М. Общая металлургия : Учебник для вузов - Москва : Академкнига, 2002. - 768 с.
- 17 Патока меласса // Satu URL: <https://satu.kz/p78060716-patoka-melassa-sveklovichnaya.html> (дата обращения: 20.01.2026).

УДК 622.7:622.342

## АКТУАЛЬНЫЕ РАЗРАБОТКИ «КАЗМЕХАНОБРА» ПО ПЕРЕРАБОТКЕ РУД ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ ЗА ПОСЛЕДНИЕ ГОДЫ

Бейсембаев Э.Б., Ли Э.М., Смайлова А.Б.

*Филиал РГП «НЦ КПМС РК» ГНПОПЭ «Казмеханобр», г. Алматы, Казахстан*

Горно-металлургическая отрасль является основным стержнем экономики Казахстана и его динамичное развитие невозможно без глубокой интеграции науки и производства. Одним из флагманов отечественной отраслевой науки является **«Казмеханобр»**, который на протяжении десятилетий остается одним из крупных научно-производственных объединений ГКМ РК и ключевым звеном в цепочке освоения минерально-сырьевой базы страны. Сплоченный, славный коллектив «Казмеханобра» – это сплав опыта и инноваций, где знания ветеранов отрасли гармонично сочетаются с энергией молодых ученых. Несмотря на меняющуюся конъюнктуру рынка, объединение продолжает демонстрировать высокую эффективность, внедряя разработки, которые позволяют вовлекать в оборот труднообогатимые, забалансовые и техногенные месторождения.

Среди выполненных за последние годы работ в области обогащения руд по своей научно-технической и инновационной значимости следует выделить работы по обогащению медных, полиметаллических и руд черных металлов. География нашей деятельности охватывает не только Казахстан, но и сопредельные государства.

Одним из знаковых проектов стали исследования медно-золотой руды месторождения **«Бозымчак»** Республики Кыргызстан. Содержание меди в руде составляло 1,10%, золота 1,80-2,30 г/т, серебра 21,0-26,0 г/т. На основе разработанного технологического регламента на переработку 500 тыс. тонн руды в год была построена и успешно запущена обогатительная фабрика. Это прямой пример того, как казахстанская научная мысль ложится в основу крупных международных промышленных объектов.

Не менее значимыми являются исследования на обогатимость полиметаллической руды месторождения **«Рубцовское»** с получением медного, свинцового, цинкового флотационных и золотосодержащего гравитационного концентратов. Разработан регламент для строительства фабрики производительностью 400 тысяч тонн в год. При содержании металлов меди 4-4,30%, свинца 5,85-6,90%, цинка 10,00-11,00% золота 0,70-0,80 г/т, серебра 100,0-120,0 г/т удалось достичь оптимальных технологических показателей. По разработанному технологическому регламенту построена Рубцовская ОФ.

Особого внимания заслуживают работы по месторождению **«Хаджиконган»**, где были проведены исследования по разработке оптимальной флотационной схемы обогащения на пробах сульфидной и окисленной медной руды (с содержанием окисленных минералов 87,14%). Содержание меди в рудах составляло до 2,04%, а серебра до 44,10 г/т. Для последних, где более 87% меди представлено окисленными минералами, была создана инновационная комбинированная флотационно-гидрометаллургическая схема.

Деятельность «Казмеханобра» за последние годы также была в области черной металлургии и редких металлов. В 2015 году выполнен комплекс исследований и выдан технологический регламент на гравитационную технологию переработки марганецсодержащего промпродукта класса - 40+10 мм. Получено Положительное Заключение от РГП «Госэкспертиза» по рабочему проекту «Реконструкция

промывочной установки на руднике **Тур** с главой ОВОС в Нуринском районе Карагандинской области.

По результатам проведенных исследований на обогатимость разработана экологически чистая гравитационная технология переработки марганцевой руды месторождения **«Акжар Сарыгумское»**. В 2016 году запасы марганцевой руды в объеме 12 млн. тонн утверждены в ГКЗ РК и поставлены на Государственный баланс.

Обширный цикл исследовательских работ был проведен для полиметаллических и золотосодержащих месторождений. Разработанные гравитационно-флотационные схемы обогащения позволили эффективно извлекать свинец, цинк, золото и серебро из руд со сложной минералогией:

– для сульфидной и окисленной руды месторождения **«Гагаринское»** (содержание в руде свинца до 0,70-0,72%, цинка до 0,75-0,80%, золота 2,04-2,40 г/т, серебра до 27,65-30,80 г/т) с проверкой гидрометаллургических процессов на золотосодержащих продуктах и разработкой Технологического регламента на строительство обогатительной фабрики;

– для полиметаллической руды месторождения **«Чинасыл-Сай»** (содержание свинца 2,95-3,31%, цинка 3,60-4,00%, золота 3,60-4,00 г/т, серебра 16,00-20,82 г/т).

Проведены исследования по разработке технологии переработки руды месторождения **«Шокпар»** (содержание свинца 0,63%, цинка 0,73%, золота 4,46 г/т, серебра 44,10 г/т) с разработкой Технологического регламента на проектирование.

Разработан Технологический регламент на проектирование обогатительной фабрики по переработке баритовой руды месторождения **«Ансай»**.

Для отработки режимов доизмельчения и обезвоживания проведена наработка технологических продуктов на руде весом 2000 кг месторождения **«Озерное»**.

В эпоху истощения богатых и легкообогатимых месторождений **«Казмеханобр»** также занимается разработкой технологий переработки техногенных отходов, позволяющие извлекать ценные компоненты из хвостов, которые десятилетиями считались забалансовыми. Проведены исследования по комбинированной схеме флотационного гидрометаллургического обогащения лежалых отвальных хвостов **Балхашской обогатительной фабрики** с последующим усовершенствованием технологии. По разработанной схеме обогащения проведены работы по изучению вещественного состава и оценке обогатимости руды месторождения **«Коньрат»** и отвальных хвостов **Балхашского медеплавильного завода**.

Проведены лабораторные исследования по флотации и мокрой магнитной сепарации на хвостах **«Соколовско-Сарбайского горно-обогатительного производственного объединения»**.

Среди комплекса выполняемых работ в Филиале «НЦ КПМС РК» в ГНПОПЭ «Казмеханобр» полупромышленные испытания являются важнейшим этапом технологической оценки минерального сырья на обогатимость. В этом отношении предметом гордости «Казмеханообра» является опытная обогатительная фабрика, на которой в условиях непрерывного процесса проверяются и отрабатываются технологические схемы обогащения руд любой сложности.

Опытная обогатительная фабрика (ООФ), построенная в 1977 году, имеет производительность 50 кг/ч и в настоящее время является единственной действующей в Республике Казахстан.

На базе ООФ были проведены испытания упорной углисто-мышьяковой сульфидной руды месторождения **«Бакырчик»** (содержание золота 8,61 г/т, мышьяка 0,71%, углерода<sub>общ.</sub> 3,21%, углерода<sub>орг.</sub> 2,19%). В ходе испытаний на пробе руды весом более 4 тонн получено 248,65 кг золотосодержащего концентрата с отработкой инновационной технологии, обеспечивающей достаточно высокую степень извлечения золота.

Проведены опытно-промышленные испытания на пробах лежалых хвостов **Березовской обогатительной фабрики** с целью проверки параметров обогащения, указанных в Технологическом регламенте, разработанном НПО «РИВЗ».

Проведены полупромышленные испытания инновационной технологии переработки сложных по составу окисленных медных руд месторождения «Хаджиконган» по комбинированной флотационно-гидрометаллургической схеме переработки с разработкой Технологического регламента. По результатам выполненной работы утверждены в ГКЗ РК и поставлены на Государственный баланс 100 тыс. тонн меди.

Опытно-промышленные испытания проводились также на лежалых хвостах **Донского горно-обогатительного комбината** (на пробе 3000 кг при содержании  $Cr_2O_3$  28,43%).

С помощью ООФ проведена наработка:

- 263 кг бериллийсодержащего концентрата с содержанием  $BeO$  10,00-12,69% по флотационной технологии из 5650 кг флюорит-фенакит-бертрандитовой руды;
- 1220 кг флотационного коллективного концентрата для последующих металлургических исследований из 15 тонн полиметаллической руды месторождения «Шалкия». Положительные результаты разделения коллективного концентрата будут в дальнейшем служить альтернативой селективной технологии переработки Шалкиинских руд.

Опытная обогатительная фабрика «Казмеханобра» представляет собой уникальный научно-производственный комплекс, позволяющий моделировать полный цикл переработки минерального сырья – от пробоподготовки до получения конечных товарных продуктов.

Технологическое оснащение ООФ включает следующие ключевые узлы:

*1. Подготовка сырья и измельчение:*

- дробильный комплекс – полупромышленные дробилки среднего и мелкого дробления, функционирующие в замкнутом цикле с грохотом (рисунок 1), а также парк лабораторных дробилок крупного и мелкого для первичной подготовки проб (рисунок 2);
- измельчительный участок – шаровые мельницы, работающие в замкнутом цикле со спиральным классификатором, что обеспечивает требуемую крупность помола для последующего обогащения (рисунок 3);

*2. Флотационное и гравитационное обогащение:*

- флотационное отделение – полупромышленная установка, позволяющая отрабатывать селективные и коллективные схемы флотации в непрерывном режиме (рисунок 4);
- гравитационное отделение – винтовые сепараторы для обогащения в безнапорном потоке воды (рисунок 5) и высокоэффективные центробежные концентраторы Knelson (модели KC-CD 10 и KC-MD 3), обеспечивающие максимальное извлечение свободного золота (рисунок 6, 7);

*3. Специальные методы обогащения:*

- магнитная сепарация – мокрый магнитный сепаратор для извлечения сильно- и слабомагнитных фракций (рисунок 8).

Таким образом, подводя итоги за последние годы, можно сделать вывод, что «Казмеханобр» способен решать задачи любой сложности – от лабораторных исследований до полупромышленных испытаний, с внедрением разработанных технологий переработки в промышленность и применением новых технологий обогащения для рационального и экологичного недропользования.



**Рисунок 1 – Полупромышленные дробилки, работающие в замкнутом цикле с грохотом**



**Рисунок 2 – Лабораторные дробилки**



**Рисунок 3 – Шаровые мельницы, работающие в замкнутом цикле со спиральными классификаторами**



**Рисунок 4 – Флотационное отделение полупромышленной установки**



**Рисунок 5 – Винтовые сепараторы**



**Рисунок 6 – Центробежный концентратор Knelson KC-CD 10**



**Рисунок 7 – Центробежный концентратор Knelson KC-MD 3**



**Рисунок 8 – Мокрый магнитный сепаратор**

УДК 622.7:622.342

## ОСОБЕННОСТИ РАЗРАБОТКИ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ СУЛЬФИДНОЙ ЗОЛОТО-МОЛИБДЕНОВО-МЕДНОЙ РУДЫ

Бейсембаев Э.Б., Ли Э.М., Смайлова А.Б., Сатбекова Г.Ж.

*Филиал РГП «НЦ КПМС РК» ГНПОПЭ «Казмеханобр», г. Алматы, Казахстан*

**Введение.** Актуальность разработки технологии обогащения комплексных сульфидных руд со сложным минеральным составом обусловлена истощением запасов легкообогатимых руд благородных и цветных металлов. Ежегодно растет число месторождений, вовлекаемых в переработку и ранее считавшихся забалансовыми. Рациональное освоение таких объектов требует создания эффективных технологий, обеспечивающих максимальное извлечение ценных компонентов при минимальных экологических рисках.

**Целью исследования** является разработка технологии переработки сульфидной золото-молибденово-медной руды с получением кондиционных концентратов.

В качестве основных методов исследования выбраны флотационное и гравитационное обогащение. Флотационный метод позволяет эффективно разделять сульфиды меди и молибдена от железа, в то время как гравитационный метод позволяет выделять «свободное» золото на начальных стадиях переработки.

Основные промышленно-ценные компоненты в исходной пробе представлены золотом, медью, молибденом; сопутствующий рудный минерал – пирит. Содержания основных компонентов в пробе составляют: золота 0,19-0,20 г/т, меди 0,20-0,22%, железа 7,04-7,40%, серы общей 3,11-3,30%, мышьяка 0,001%, диоксида кремния 60,02-60,49%, оксида алюминия 11,06-11,19%, оксида магния 0,57-0,60%, оксида кальция 2,24-2,29%.

Фазовым анализом установлено, что медь в руде представлена первичными минералами на 48,54%, вторичными – на 46,12% и на 5,34% окисленными. Серы в сульфидной форме составляет 97,88%, сульфатной – 2,12%. Железа, связанного с сульфидами – 10,45%, пиритного – 29,99%, окисленного – 59,56%.

Определены физико-механические свойства исходной пробы: плотность 2,86 г/см<sup>3</sup>, насыпной вес 1,72 г/см<sup>3</sup>, пористость 39,86%, крепость по шкале Протодьяконова – 7,0, индекс Бонда шарового измельчения 9,16 кВт·ч/т.

По результатам GRG-теста на центробежном концентраторе Knelson суммарное извлечение гравитационно-извлекаемого золота составляет 28,75% при содержании 2,18 г/т и выходе 2,88%. Полученные результаты показывают неэффективность гравитационной обогатимости руды.

Опытами в открытом цикле отработаны режимы измельчения и флотации: тонина помола, pH среды, расходы собирателя и вспенивателя. Определены: кинетика коллективной основной и контрольной медной флотации, необходимое количество перечистных операций основного концентрата и необходимость доизмельчения коллективного концентрата.

Опыты в замкнутом цикле проведены по флотационной и гравитационно-флотационной схемам.

Флотационная схема включает:

- измельчение руды до крупности 80% класса -0,071 мм;
- основную коллективную флотацию с получением основного концентрата и хвостов основной флотации;
- контрольную коллективную флотацию на хвостах основной флотации с получением контрольного концентрата и хвостов коллективной флотации (отвальные);

- доизмельчение коллективного концентрата до крупности 95% класса -0,030 мм;
- основную медную флотацию с получением основного медного концентрата и хвостов основной флотации;
- контрольную медную флотацию с получением контрольного медного концентрата и хвостов контрольной медной флотации;
- четыре перерешетки медного концентрата.

Гравитационно-флотационная схема включает центробежную сепарацию измельченной руды до крупности 80% класса -0,071 мм на концентраторе Knelson KC-MD3 с получением гравеоконцентрата и последующей флотацией хвостов гравитации.

Результаты замкнутых опытов по флотационной и гравитационно-флотационной схемам приведены в таблице 1.

**Таблица 1 – Результаты замкнутых опытов по флотационной и гравитационно-флотационной схемам**

Продукты	Выход, %	Содержание, %				Извлечение, %			
		Au, г/т	Ag, г/т	Cu	Fe	Au	Ag	Cu	Fe
<b>Флотационная схема</b>									
Медный концентрат	0,90	7,51	28,30	19,50	36,18	34,51	19,26	78,77	4,40
Хвосты контрольной медной флотации	4,18	0,80	1,93	0,45	39,71	17,07	6,10	8,44	22,41
Хвосты отвальные	94,92	0,10	1,04	0,03	5,71	48,44	74,64	12,79	73,19
<b>Общие хвосты</b>	<b>99,10</b>	<b>0,13</b>	<b>1,08</b>	<b>0,047</b>	<b>7,14</b>	<b>65,51</b>	<b>80,74</b>	<b>21,23</b>	<b>95,60</b>
<b>Руда</b>	<b>100,0</b>	<b>0,20</b>	<b>1,32</b>	<b>0,22</b>	<b>7,41</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>
<b>Гравитационно-флотационная схема</b>									
Гравиоконцентрат	1,06	2,60	4,72	1,40	37,87	13,46	3,63	7,41	5,45
Медный концентрат	0,85	5,12	22,85	16,81	38,83	21,22	14,12	72,10	4,48
Хвосты контрольной медной флотации	3,98	1,00	3,60	0,31	31,47	19,42	10,42	6,21	17,00
Хвосты отвальные	94,11	0,10	1,05	0,03	5,72	45,90	71,83	14,22	73,07
<b>Общие хвосты</b>	<b>98,09</b>	<b>0,14</b>	<b>1,15</b>	<b>0,041</b>	<b>6,77</b>	<b>65,32</b>	<b>82,25</b>	<b>20,43</b>	<b>90,07</b>
<b>Руда</b>	<b>100,0</b>	<b>0,21</b>	<b>1,38</b>	<b>0,20</b>	<b>7,37</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>

В результате замкнутых опытов получены:

• **по флотационной схеме:**

– медный концентрат с содержанием золота 7,51 г/т, серебра 28,30 г/т, меди 19,50%, железа 36,18% при извлечении золота 34,51%, серебра 19,26%, меди 78,77%, железа 4,40% и выходе 0,90%;

– общие хвосты с содержанием золота 0,13 г/т, серебра 1,08 г/т, меди 0,047%, железа 7,14% при выходе 99,10%. Потери составляют золота 65,51%, серебра 80,74%, меди 21,23%, железа 95,60%;

• **по гравитационно-флотационной схеме:**

– гравиоконцентрат с содержанием золота 2,60 г/т, серебра 4,72 г/т, меди 1,40%, железа 37,87% при извлечении золота 13,46%, серебра 3,63% и выходе 1,06%. Потери в гравиоконцентрате составляют меди 7,41%, железа 5,45 %;

– медный концентрат с содержанием золота 5,12 г/т, серебра 22,85 г/т, меди 16,81%, железа 38,83% при извлечении золота 21,22%, серебра 14,12%, меди 72,10%, железа 4,48% и выходе 0,85%.

– общие хвосты с содержанием золота 0,14 г/т, серебра 1,15 г/т, меди 0,041%, железа 6,77% при выходе 98,09%. Потери составляют золота 65,32%, серебра 82,25%, меди 20,43%, железа 90,07%.

На основании проведенных исследований и сравнительного анализа флотационной и гравитационно-флотационной схем, для переработки сульфидной золото-молибденово-медной руды рекомендуется флотационная схема, приведенная на рисунке 1.

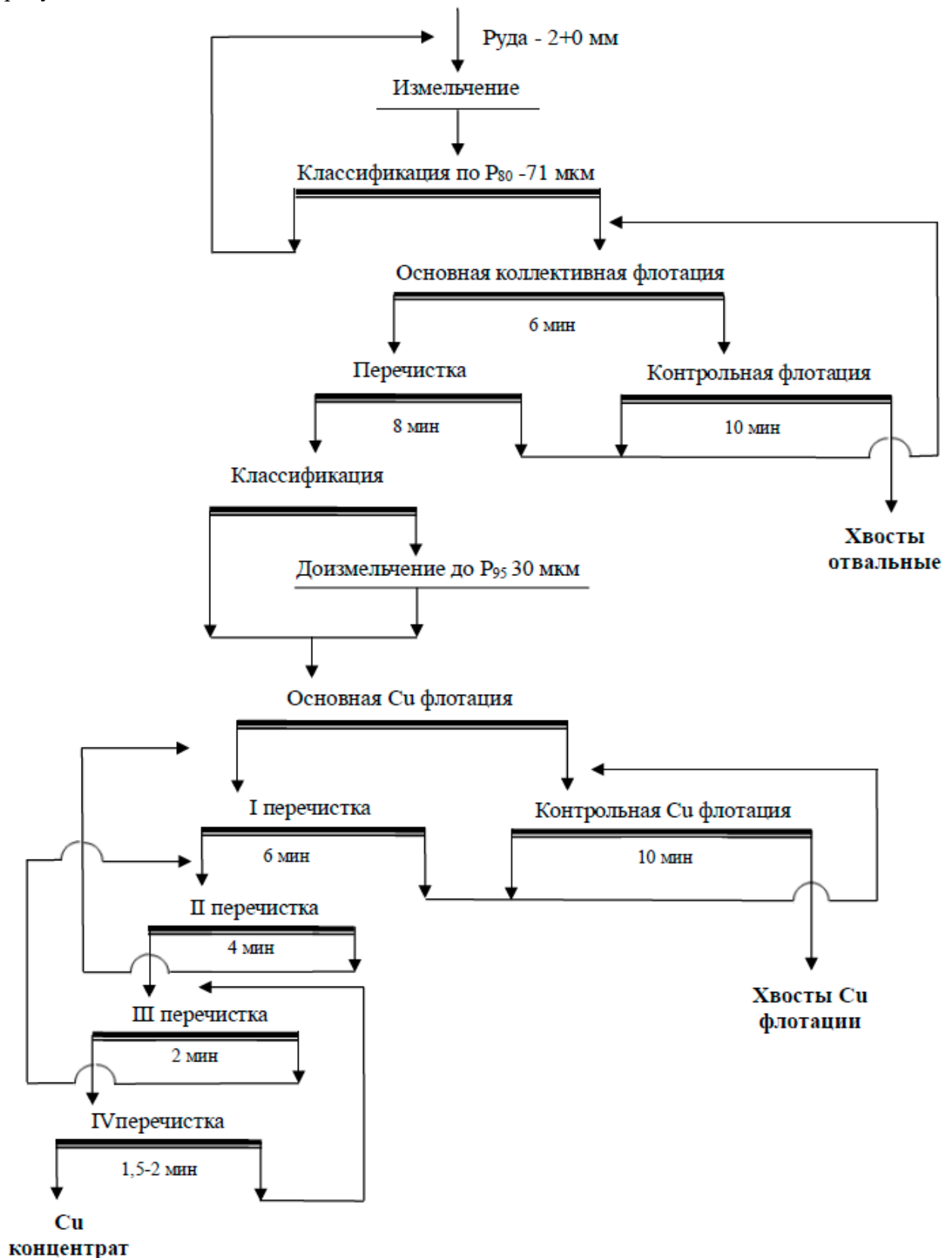


Рисунок 1 – Рекомендуемая схема переработки сульфидной золото-молибденово-медной руды

По конечным продуктам обогащения составлен баланс металлов (таблица 2).

**Таблица 2 – Баланс металлов по разработанной схеме обогащения**

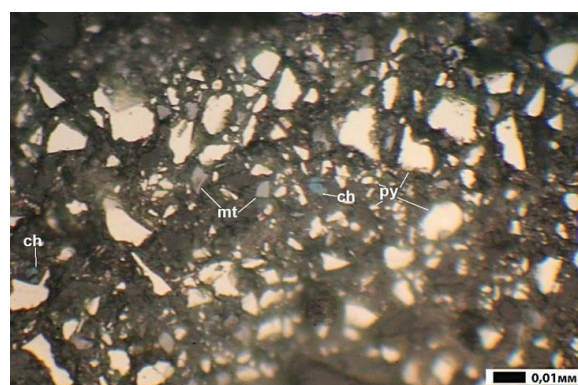
Продукты	Выход, %	Содержание, %										
		Au, г/т	Ag, г/т	Cu	Fe	S <sub>общ.</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SiO <sub>2</sub>	Mo	As
Медный концентрат	0,90	7,51	28,30	19,50	36,18	43,49	1,11	1,54	0,20	0,50	0,041	< 0,001
Хвосты контрольной медной флотации	4,18	0,80	1,93	0,45	39,71	40,35	3,50	4,54	0,05	9,91	0,031	< 0,001
Хвосты отвальные	94,92	0,10	1,03	0,03	5,71	1,09	11,62	2,20	0,55	61,79	0,001	< 0,001
<b>Общие хвосты</b>	<b>99,10</b>	<b>0,13</b>	<b>1,13</b>	<b>0,047</b>	<b>7,14</b>	<b>2,75</b>	<b>11,28</b>	<b>2,30</b>	<b>0,59</b>	<b>61,12</b>	<b>0,0014</b>	<b>&lt; 0,001</b>
<b>Руда</b>	<b>100,0</b>	<b>0,20</b>	<b>1,36</b>	<b>0,22</b>	<b>7,41</b>	<b>3,11</b>	<b>11,29</b>	<b>2,29</b>	<b>0,59</b>	<b>60,59</b>	<b>0,0020</b>	<b>&lt; 0,001</b>

Продукты	Выход, %	Извлечение, %										
		Au, г/т	Ag, г/т	Cu	Fe	S <sub>общ.</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SiO <sub>2</sub>	Mo	As
Медный концентрат	0,90	34,51	19,40	78,77	4,40	12,57	0,09	0,61	0,33	0,01	14,01	0,90
Хвосты контрольной медной флотации	4,18	17,06	6,14	8,44	22,41	54,19	1,31	8,28	4,12	0,69	49,20	4,18
Хвосты отвальные	94,92	48,43	74,46	12,79	73,19	33,24	98,60	91,11	95,55	99,30	36,79	94,92
<b>Общие хвосты</b>	<b>99,10</b>	<b>65,49</b>	<b>80,60</b>	<b>21,23</b>	<b>95,60</b>	<b>87,43</b>	<b>99,91</b>	<b>99,39</b>	<b>99,67</b>	<b>99,99</b>	<b>85,99</b>	<b>99,10</b>
<b>Руда</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>

Согласно проведенному минералогическому анализу конечных продуктов основным рудным минералом является пирит. В концентрате его содержание достигает 70%, а в хвостах контрольной флотации – более 90%. Медные минералы представлены в основном халькопиритом, до 30% в медном концентрате (рисунок 2). Наличие вторичных сульфидов (халькозина и ковеллина) в количестве менее 1% указывает на слабую степень окисления руды. Медные минералы имеют размер зерен от микронных до 0,05 мм. Основные потери меди с хвостами представлены частицами менее 0,005 мм (рисунок 3).



**Рисунок 2 – Медный концентрат**



**Рисунок 3 – Хвосты контрольной медной флотации**

## Выводы

Исходная руда является комплексной и труднообогатимой ввиду низких содержаний и тонкой вкрапленности ценных компонентов. Медь находится в сульфидной форме (94,66%), что благоприятно для флотационного выделения. Однако золото лишь на 28,75% является «свободным», что обуславливает его основные потери. В ходе исследования проведено сравнение двух схем обогащения: по флотационной и гравитационно-флотационной схеме. В результате рекомендована флотационная схема с получением кондиционного медного концентрата с содержанием меди 19,50%, молибдена 0,041%, золота 7,51 г/т, серебра 28,30 г/т. Извлечение меди в концентрат составило 78,77%, молибдена – 14,01%, золота – 34,51%, серебра – 19,4%. Таким образом, разработанная технология является оптимальной с получением товарного медного концентрата, соответствующего марке КМ6 (согласно СТ РК 2330-2013).

## Источники

- 1 Митрофанов С.И., Барский Л.А., Самыгин В.Д. Исследования руд на обогатимость. – М.: Недра, 1974.
- 2 Бери Л. Минералогия: Теоретические основы. Описание минералов. Диагностические таблицы: Пер. с англ. [Текст] / Л. Бери, Б. Мейсон, Р. Дитрих. – М.: Мир, 1987.
- 3 Химические анализы выполнены в химико-аналитической лаборатории им. Г.П.Штреккера (ХАЛ), аккредитованной Национальным центром аккредитации Комитета технического регулирования и метрологии Министерства торговли и интеграции Республики Казахстан на соответствие требованиям ГОСТ ISO/IEC 17025-2019 «Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий» (Аттестат аккредитации зарегистрирован в реестре субъектов аккредитации №KZ.T.02.0108 от 30.12.2022 г. с приложением «Область аккредитации»).
- 4 Пробирно-гравиметрический метод анализа на золото и серебро выполнен по МВИ № KZ.07.00.03486-2017, СТ РК 2.636-2019 (входит в область аккредитации).
- 5 Филиппова Н.А. Фазовый анализ руд и продуктов их переработки. - М.: Химия, 1975.
- 6 Зеленов В.И. Методика исследования золотосодержащих руд. – М.: Недра, 1978.
- 7 Справочник. Технологическая оценка минерального сырья. Методы исследования. Под редакцией д.т.н. Остапенко П.Е. – М.: Недра, 1990.
- 8 ГОСТ 21153.1-75. Определение коэффициента крепости по шкале Протодьяконова.
- 9 Эйгелес М.А. Реагенты- регуляторы во флотационном процессе. - М.: Недра. 1977.
- 10 Бергер Г.С. Флотирuemость минералов. - М.: Госгортехиздат, 1962.

УДК 622.7

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ПЛАТФОРМА ПЕРЕРАБОТКИ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ

Бектай Е.К.<sup>1</sup>, Байбатша А.Б.<sup>1</sup>, Дуйсебаев Б.О.<sup>2</sup>, Турысбекова Г.С.<sup>1</sup>, Бектаев М.Е.<sup>3</sup>,  
Шидерин Б.Н.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>КазННТУ им. К.И.Сатпаева, г. Алматы, Казахстан,

<sup>2</sup>ТОО «KV Kazakhstan», г. Алматы, Казахстан,

<sup>3</sup>ТОО «ТМО Kazakhstan», г. Алматы, Казахстан

**Введение.** Переработка минерального сырья и техногенных минеральных образований требует опытно-промышленных испытаний на укрупнённых пробах (десятки-сотни тонн), поскольку лабораторные тесты частично отражают реальную гидродинамику, кинетику, фильтрацию, тепло- и массообмен. Классический подход – строительство стационарных пилотных установок – связан с высокими капитальными затратами, длительными сроками и ограниченной применимостью под разные типы сырья. Актуальным решением является создание мобильной технологической платформы, позволяющей проводить испытания непосредственно на месте нахождения сырья (рудник, хвостохранилище, склад техногенных материалов), снижая логистические и организационные барьеры и ускоряя внедрение технологий.

В рамках Научно-исследовательской лаборатории «БиоГеоТехнология золота, урана и полиметаллических руд» ранее были проведены исследования связанные с биоактивацией выщелачивающих растворов при ПСВ урана и впервые в мире смонтирована мобильная установка бактериального окисления железа (БОЖ-3) в системе реакторов в 40 футовых контейнерах производительностью по раствору до 600 000 м<sup>3</sup>/год. Опытно-промышленные испытания показали увеличение содержания урана в продуктивном растворе на 20-40 % на урановом блоке (рисунок 1 – фото БОЖ-3). Проведенные работы позволили сформулировать цели и задачи создания мобильной технологической платформы для проведения укрупненных испытаний.

Одной из целей проведенных работ разработка концепции мобильной технологической базы для проведения испытаний укрупнённых проб большого объёма, также опытно-промышленной и промышленной переработки минерального сырья и с возможностью транспортировки реакторов и оборудования к месту расположения сырья.

В ходе работ были сформулированы основные задачи:

- 1) Разработка концепции мобильной платформы на основе принципов: модульность, транспортабельность, быстрый монтаж/демонтаж.
- 2) Подбор и обоснование состава оборудования: реакторные модули, узлы подготовки сырья, дозирования реагентов, сорбции/экстракции, системы водооборота.
- 3) Обеспечение технологической универсальности платформы для разных типов сырья (окисленные и сульфидные руды, хвосты, шлаки и др.).
- 4) Развитие системы цифровизации, автоматизации и контроля (АСУ ТП, КИПиА) для поддержания режимов, регистрации параметров и формирования цифровых протоколов испытаний.
- 5) Выработка требований промышленной и экологической безопасности (герметичность, аварийная остановка, контроль выбросов/стоков).
- 6) Проведение испытаний платформы в холостом и рабочем режимах и подтвердить её работоспособность при обработке укрупнённых проб и полупромышленных испытаний и на объекте.



а)



б)

**Рисунок 1 – а) установка БОЖ-1 и БОЖ-2;  
б) Установка БОЖ-3 (рудник Семизбай)**

В ходе работ были достигнуты основные результаты:

- Разработаны составы специальных выщелачивающих растворов с высоким окислительно-восстановительным потенциалом (свыше 750 мВ) для извлечения благородных и редкоземельных металлов и других ценных элементов.
- Сформирована архитектура мобильной технологической платформы в виде модульных блоков (контейнерное исполнение), обеспечивающих оперативную перевозку реакторов и вспомогательных узлов к месту испытаний.
- Разработан и внедрён контур мониторинга и цифровизации потоков и других показателей процесса, регистрация данных, формирование отчётов и технологических карт с удаленной передачей информации (рисунок 2 – фото системы цифровизации и ЭМР).
- Реализована возможность проведения испытаний на укрупнённых пробах большого объёма от 1 тонны до 100 тонн (единовременная загрузка) с управлением ключевыми параметрами: расходами, концентрациями, температурой, рН/ORP, временем пребывания, скоростями протока и др. (рисунок 3 – фото со схемой оборота растворов и с загрузкой проб в биг бэгах).
- Разработаны решения по быстрому разворачиванию на площадке (подключение к воде/электроэнергии/компрессору, минимальные строительные работы).
- Обоснованы подходы к экологической безопасности: разработаны замкнутые контуры оборотной воды и растворов, локальная нейтрализация, предотвращение проливов и миграции загрязняющих компонентов.
- Подтверждена применимость платформы для ускоренного подбора режимов и подготовки исходных данных для масштабирования до промышленной установки.

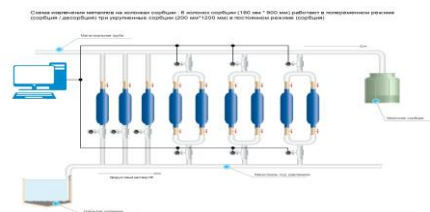


Рисунок 2 – Фото системы цифровизации и ЭМР



- АВР активированный выщелачивающий раствор
- ПР - продуктивный раствор
- ВР выщелачивающий раствор
- ОМР обезжелезиванный раствор
- КС - компрессорная станция
- НС- насосная станция
- ▲ - узел интенсивного выщелачивания (со складом обезжелезиванных хвостов)



Рисунок 3 – а) схема водобоборты; б) загрузка пробы для проведения испытаний

**Выводы**

- Создана мобильная технологическая платформа которая является эффективным инструментом для ускоренной коммерциализации технологий переработки минерального сырья. Она позволяет переносить испытания из лаборатории в реальные условия без строительства стационарного пилотного завода.
- Перевозка модульных реакторов в 40 футовых контейнерах к месту нахождения сырья снижает затраты на логистику укрупнённых проб, уменьшает сроки опытно-промышленных работ и значительно повышает достоверность результатов масштабирования.
- Модульность, автоматизация и проработанные меры безопасности обеспечивают универсальность платформы и возможность её применения для разных типов сырья и технологических схем.
- Платформа может рассматриваться как основа для создания тиражируемой мобильной базы испытаний, обслуживающей несколько объектов и проектов, с перспективой дальнейшего расширения функционала и перехода к промышленным мощностям.
- В настоящее время созданная технологическая платформа включает в возможность переработки медьсодержащего сырья (хвосты и руды) (ТОО «ТМО Kazakhstan»), окисленной и сульфидной никелевой руды (ТОО «KV Kazakhstan»), переработка шлаков и золошлаков, утилизация метана и производство из него белковой продукции (ТОО «ВМС Kazakhstan»), а также другие виды и типы минерального сырья.
- Создание технологической платформы стало возможным благодаря финансированию АО «Фонда науки». Были созданы несколько стартапов для реализации отдельных проектов, что позволило реализовать идею мобильной технологической платформы переработки минерального сырья. Технологическая платформа в настоящее время включает свыше 10 независимых реакторов выщелачивания общим объемом до

1000 м<sup>3</sup> в мобильном исполнении. Мобильная система насосных станций, компрессоров и реакторов размещенных в 40 футовых контейнерах, а также мобильные комплексы извлечения металлов на основе колонн сорбции/десорбции и канальных экстракторов, реакторы для подготовки и активации выщелачивающих растворов, осаждения, цементации и электролиза. Производственная мощность всей технологической платформы позволяет перерабатывать до 300 тонн сырья в сутки (до 100 тыс. тонн в год).

– Созданная технологическая платформа позволяет проводить опытно-промышленные испытания различных видов проб с единовременной загрузкой от 1 тонны до 100 тонн с получением конечного продукта. Аналитическую поддержку проекта предоставляет АО «КазННТУ им.К.И.Сатпаева».

– В настоящее время на технологической платформе проводятся исследования золотосодержащих проб от АО Алтыналмас, медных проб от АО «АРХ minerals», ТОО «Хималатау», тонкоизмельченных хвостов и упорных руд АО «Казахмыс», золошлаков и др.

– В декабре 2025 года один из стартапов входящий в технологическую платформу вышел в гранд финал в Пекине из 6 компаний (5 китайских и одна казахстанская компания ТОО «KV Kazakhstan») пройдя международный отбор, в котором участвовали свыше 2000 международных компаний



**Рисунок 4 – Гранд финал Пекин  
(проект вошел в 6 финалистов Dongcheng Cup из 2000 компаний)**

### **Благодарности**

Авторы выражают признательность АО “Фонд науки” за содействие в реализации проектов ТОО “ВМС Kazakhstan”, ТОО «KV Kazakhstan», ТОО «ТМО Kazakhstan» и др.

### **Источники**

- 1 Турысбекова Г.С., Меретуков М.А., Бектай Е.К. Золото: Инновации в химии и металлургии. НАО «КазННТУ им.К.И.Сатпаева»
- 2 Турысбекова Г.С., Меретуков М.А., Бектай Е.К. Золото: Новые сырьевые источники, вторичная металлургия и аффинаж. НАО «КазННТУ им.К.И.Сатпаева»
- 3 Бектай Е.К., Турысбекова Г.С., Меретуков М.А., Бектаев М. Природные наноструктуры и наночастицы. НАО «КазННТУ им.К.И.Сатпаева»
- 4 Maxat Bektayev, Development of a technology for the integrated extraction of noble and rare earth metals in-situ leach recovery of uranium | UNECE
- 5 [https://unece.org/sites/default/files/202304/07.%20Maxat%20Bektayev\\_Final%20EGRM-14.pdf](https://unece.org/sites/default/files/202304/07.%20Maxat%20Bektayev_Final%20EGRM-14.pdf)

УДК 669.884

## ПОЛУЧЕНИЕ СПОДУМЕНОВОГО КОНЦЕНТРАТА ИЗ ПЕГМАТИТОВЫХ РУД КАЗАХСТАНА

Бердикулова Ф.А., Жумақынбай Н., Мендеке М.А.

*РГП «НЦ КПМС РК», г. Алматы, Казахстан*

Рост спроса на литий для технологий накопления энергии и производства электротранспорта обусловил повышенный интерес к освоению литийсодержащих пегматитовых месторождений. Казахстан располагает значительной сырьевой базой пегматитовых руд, в которых основным носителем лития является сподумен. Однако вопросы разработки эффективных технологий их обогащения и получения сподуменного концентрата в настоящее время остаются недостаточно изученными [1, 2].

В данной работе проведено исследование и оценка методов получения сподуменного концентрата из пегматитовых руд Казахстана. Выполнены минералогическо-химические исследования исходной руды с целью определения содержания сподумена, гранулометрического состава и состава сопутствующих порообразующих минералов, таких как кварц, полевые шпаты и слюды. На основе полученных характеристик рассмотрены и проанализированы различные методы обогащения, включая дробление и измельчение, гравитационное и магнитное разделение, а также флотацию.

Особое внимание уделено обогащению в тяжелой суспензии как наиболее перспективным для селективного извлечения сподумена. Изучено влияние тонкости измельчения, и плотности среды на показатели извлечения и качество концентрата.

Исследование проводилось на пегматитовой руде месторождения Ахметкино (ВКО). Содержание лития в руде варьируется от 0,3% до 0,7%  $\text{Li}_2\text{O}$ . Руда была измельчена с помощью шаровой мельницы на размере -5 мм, в результате чего был получен ряд фракций с различным содержанием лития ( $\text{Li}_2\text{O}$ ). Самая грубая фракция, -5,00/+2,0 мм, составляет 29,07% исходного сырья с содержанием  $\text{Li}_2\text{O}$  0,36%, в то время как самая тонкая фракция, ниже 300 мкм, составляет 20,75% исходного сырья, но имеет немного более низкое содержание  $\text{Li}_2\text{O}$  0,32%. Другие фракции промежуточного размера, включая 2,0/+1,0 мм, 1,0/+850 мкм и 850/+500 мкм, показывают содержание  $\text{Li}_2\text{O}$  в диапазоне от 0,37% до 0,44%.

Проведен минералогический состав во всех фракциях руды. По результатам основными фазами образца руды были кварц ( $\text{SiO}_2$ ), полевой шпат ( $[\text{K},\text{Na}] \text{AlSi}_3\text{O}_8$ ), мусковит ( $\text{KAl}_2(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2$ ) и сподумен ( $\text{LiAl}(\text{Si}_2\text{O}_6)$ ).

Для количественной оценки элементного состава руды, кроме лития, была использована рентгеновская флуоресцентная (XRF) спектроскопия (таблица 1).

**Таблица 1 – Содержание элементов в руде по фракциям (масс. %)**

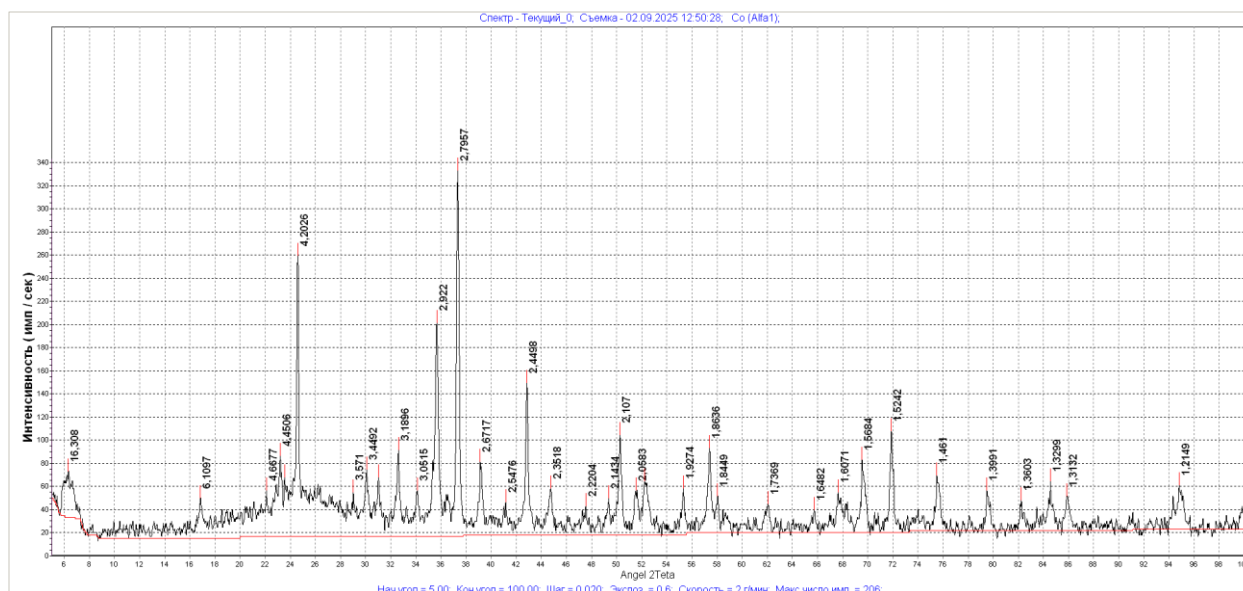
Фракции руды, мм	Содержание в %							
	O	Na	Al	Si	K	Fe	Другие	Сумма
-2 +1	52,16	4,57	7,64	30,53	3,78	0,81	0,50	100
-1+ 0,850	49,11	4,57	8,09	33,05	4,40	0,78		100
-0,85+0,5	51,09	4,68	7,97	31,50	4,03	0,73		100
-0,5+0,25	51,14	4,95	8,01	31,61	3,46	0,83		100
-0,25	51,07	5,04	8,60	30,06	3,92	0,97	0,19	100

Эксперименты по разделению тяжелой среды (DMS) проводились с использованием тяжелой жидкости М-45 – концентрированного раствора комплексной соли Ba(CdI<sub>4</sub>) (тетраиодокадмиата бария) с плотностью 3,00 г/см<sup>3</sup>. В опытах использовалась навеска исходного сырья массой 500 г фракции 2000/+1000 мкм. Разделение проводили при максимальной плотности жидкости (3,00 г/см<sup>3</sup>) для отделения тяжелого минерала – сподумена – от легких породообразующих минералов (кварца, полевых шпатов и мусковита) с использованием ковшового сита.

Осадочный продукт, полученный на стадии DMS, представлял собой концентрат сподумена, тогда как всплывающий продукт формировал силикатные хвосты. Полученные осадочные и плавающие продукты промывались, фильтровались, высушивались и взвешивались, после чего из них отбирались под пробы для последующего фазового анализа методом рентгеновской дифракции (XRD).

Эксперименты по разделению в тяжелой среде с плотностью до 3,00 г/см<sup>3</sup> для фракции 2000/-1000 мкм показали, что достижение оптимальных показателей процесса требует точного контроля его параметров. В результате проведенных опытов было достигнуто извлечение лития на уровне 33 % при максимальном содержании лития в концентрате 6,9 %.

На рисунке 1 представлен рентгенофазовый анализ сподуменового концентрата, полученного в результате вышеописанного эксперимента.



Phase name	Formula	DB card number	Content(%)
Spodumene	LiAl(Si <sub>2</sub> O <sub>6</sub> )	00-089-6663	95
Quartz low, syn	SiO <sub>2</sub>	00-065-0466	5

LiAl(Si <sub>2</sub> O <sub>6</sub> )	6.09; 4.43; 4.35; 4.19; 3.44; 3.18; 3.04; 2.91; 2.85; 2.79; 2.66; 2.54; 2.45; 2.35; 2.21; 2.14; 2.10; 2.05; 2.04; 2.03; 2.02; 1.92; 1.86; 1.84; 1.82; 1.78; 1.73; 1.64; 1.61; 1.60; 1.59; 1.56; 1.52; 1.49; 1.48; 1.46; 1.45; 1.41; 1.39; 1.35; 1.34; 1.33; 1.32; 1.31; 1.30; 1.28; 1.27; 1.25; 1.23; 1.22; 1.21; 1.20; 1.16 Å
SiO <sub>2</sub>	4.25; 3.34; 2.45; 2.28; 2.23; 2.12; 1.98; 1.81; 1.80; 1.67; 1.66; 1.60; 1.54; 1.45; 1.41; 1.38; 1.37; 1.28; 1.25; 1.22; 1.19; 1.18 Å

**Рисунок 1 – Рентгенофазовый анализ сподумен концентрата на удельных весах при фракции 2000/+1000 мкм**

По результатам рентгенофазового анализа установлено, что полученный продукт содержит около **95 % сподумена**, что подтверждает формирование высококачественного сподуменового концентрата.

### **Заключение**

Проведённые исследования показали возможность получения сподуменового концентрата из пегматитовых руд месторождения Ахметкино. Установлено, что эффективность извлечения лития существенно зависит от выбора оптимального диапазона крупности и параметров процесса разделения. Применение тяжелосреднего обогащения позволило осуществить селективное разделение сподумена и силикатных минералов, что подтверждает перспективность использования методов плотностного разделения на стадии предварительного обогащения.

Полученные экспериментальные результаты свидетельствуют о возможности формирования высококачественного сподуменового продукта, пригодного для дальнейшей переработки в литиевые соединения.

Работа выполнена в рамках научного проекта ИРН 23485523 «Разработка технологии получения сподуменового концентрата и карбоната лития из руд пегматитовых месторождений», финансируемого Комитетом науки МНВО РК.

### **Источники**

- 1 Meshram, P.; Pandey, B.D.; Mankhand, T.R. Extraction of lithium from primary and secondary sources by pre-treatment, leaching and separation: A comprehensive review. *Hydrometallurgy* 2014, 150, 192-208.
- 2 Berdikulova F, Zharmenov A, Serikbayeva A. Review of Technology for Rhenium Extraction from Lead Sludges and Dusts of Copper Production. *Journal of Engineering* Volume 2025, Issue 1, <https://doi.org/10.1155/je/9667313>.

УДК 541.13.622343.549.3

## ҚИЫН БАЙЫТЫЛАТЫН ТОТЫҚҚАН МЫС КЕНДЕРІН ЭЛЕКТРОХИМИЯЛЫҚ ӘДІСПЕН СУЛЬФИДТЕУ

Доспаев М.М.<sup>1</sup>, Баяшев А.Б.<sup>1</sup>, Абишев Ж.Н.<sup>1</sup>, Фигуринене И.В.<sup>1</sup>,  
Джашибекова А.Н.<sup>1,2</sup>, Базарова А.М.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Ж.Абишев атындағы химико-металлургиялық институт, Қарағанды, Қазақстан

<sup>2</sup> Әбілқас Сағынов атындағы қарағанды техникалық университеті, Қарағанды, Қазақстан

Әлемдік экономиканың түсті металдарға деген сұранысының артуы бұрын кен орындарында техногендік үйінділер ретінде жиналып келген, құрамында байытылуы қиын тотыққан хризаколла, малахит, азурит, бирюза, халькосидерит, куприт, т.б. мыс минералдары бар кендерді өндірістік өңдеуге тартуды талап етеді. Флотациялық әдіспен айтылған минералдар байытылмайды. Ж.Абишев атындағы Химия-металлургия институтында ертеректе жүргізілген мыстың, оның тотықтарының әр түрлі сулы электролиттерде тотықсыздану механизмін зерттеулер негізінде тотыққан қиын байытылатын мыс кендерін электрохимиялық сульфидтеу арқылы байытудың тиімділігі өте жоғары жаңа әдістері әзірленді. Тотыққан хризаколла, малахит, азурит минералдарын сульфид минералдарына ауыстыру мақсатында зерттеулерді құрамында 0,5-1,34 % мысы бар тотығу дәрежесі 90% кендерде өткіздік. Электрохимиялық сульфидтеу 50-75 а/м<sup>2</sup> ток тығыздығында, концентрациясы 5-15 г/л күкірт қышқылы электролитінде, 30-60 минут уақыт аралығында жүргізілді. Электрохимиялық сульфидтеудің екі нұсқасы ұсынылды: бірінші нұсқада кен құрамындағы күкірт, екінші нұсқада сульфидизатор ретінде концентрациясы 0,75-6 г/л натрий сульфиті пайдаланылды. Электролиздық сульфидтеуді өткізудің тиімді жағдайларында кеннен мысты бөліп алу дәрежесі 95-97% жетті. Әзірленген әдістер бойынша Санкт-Петербургтегі «Механобр» институтында ірілендірілген зертханалық сынамалар жасалды. Сынақ нәтижесі бойынша СКБ Механобр РФ, Апатиты қаласында көлемі 3 м<sup>3</sup> электролизер және пульпа дайындайтын құрылыс жобасы дайындалды. Қорытындылай келе қиынбайытылатын тотыққан мыс кендерін электрохимиялық сульфидтеудің екі тиімді нұсқасы ұсынылды.

### Әдебиеттер

- 1 Бектурганов Н.С. Технологические и экологические аспекты комплексной переработки труднообогатимого минерального и техногенного сырья Казахстана // Плаксинские чтения – 2014: материалы международного совещания. Алматы, 16-19 сентября 2014. – С. 9-12.
- 2 Bayeshov A., Zhurinov M.Z., Zhumakanova A. S., Bayeshova A. K., Syzdykova B. B., Dospaev D. M, Kakenov K. S. Physical-and-chemical regularities of forming chrysocolla mineralin metasilicate solutions// News of the academy of sciences of the Republic of Kazakhstan, series of geology and technical sciences, №5 (431), Almaty 2018. – P 107-112.

УДК 66.012.52

## **ИННОВАЦИЯ МИРОВОГО УРОВНЯ – ОТРАБОТКА ВОЛЬФРАМОВЫХ РУД КАЗАХСТАНА МЕТОДОМ ПОДЗЕМНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ**

**Дуйсебаев Б.О.**

*РГП «НЦ КПМС РК», г. Алматы, Казахстан*

Несмотря на наличие в Центральном Казахстане ряда крупных, мирового масштаба вольфрамовых месторождений, их разработку так и не удалось начать. Причиной является небогатимость руд этих месторождений традиционными методами (флотацией, гравитацией, магнитной сепарацией). В этой ситуации для добычи вольфрама из таких руд нужно применить технологии прямой гидрометаллургической кислотной переработки руд в местах их залегания (подземное скважинное выщелачивание, ПСВ), по аналогии с теми, что с большим успехом более 50 лет применяются на урановых рудниках АО НАК Казатомпром.

В 80-е годы в рамках общесоюзной объединенной научно-технической программы МинЦветМета, МинГео и МинСредМаша СССР в ХМИ АН КазССР под руководством Ж.Н. Абишева были проведены обширные лабораторные и опытно-промышленные работы по комплексной переработке руд месторождений Верхнее Кайракты, Коктенколь и Северный Катпар по сернокислотной технологии. Данная технология показала самые высокие технико-экономические показатели из всех представленных разными институтами.

Данная идея получила продолжение в 2016-2017 гг, когда были проведены лабораторные и натурные опыты по подземному выщелачиванию вольфрамовых руд коры выветривания месторождения Коктенколь с участием ученых и специалистов АО «Волковгеология». Работы показали технологическую и экономическую эффективность технологии ПСВ для этих руд. Так, требуемые капитальные затраты на рудник мощность 1000 т вольфрама в год уменьшились с 600 млн USD (при традиционной карьерной добыче) до 30 млн USD при технологии ПСВ. При кислотной схеме, кроме вольфрама, в продуктивные растворы извлеклись медь, молибден и редкоземельные элементы, что повышает экономическую отдачу рудника.

Таким образом, целесообразно под эгидой МПС РК и РГП «НЦ КПМС РК» разработать комплексную программу по добыче вольфрама и других ценных металлов из руд Казахстана методами ПСВ. В свое время казахстанские разработки по ПСВ урановых руд привели к повышению доли урана в мире, добываемую через ПСВ, до выше 50 %. Из этой доли на Казахстан приходится 80 %, Узбекистан 13 %, на остальные страны вместе 7 %.

В стране есть научный и технологический потенциал для повторения этого успеха на рудах вольфрама, меди, титана, никеля, кобальта, алюминия, золота и др.

УДК 669.2/.8

## ОБЗОР МЕТОДОВ ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ ЗОЛОТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАЗЛИЧНЫХ РЕАГЕНТОВ

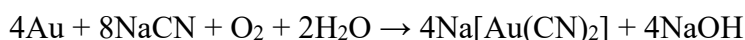
Жұмабай Ш.Е.

*Филиал РГП «НЦ КПМС РК» ГНПОПЭ «Казмеханобр», г. Алматы, Казахстан*

В данной работе проведен сравнительный анализ современных реагентов для выщелачивания золота. Рассмотрены классическое цианирование, тиосульфатные и тиомочевинные системы, а также перспективное использование глицина. Выделены ключевые преимущества и технологические ограничения каждого метода в контексте переработки упорного и техногенного сырья.

Современная золотодобывающая промышленность характеризуется снижением доли легкообогатимых руд и вовлечением в отработку месторождений со сложным минералогическим составом. Традиционное цианирование, несмотря на свою эффективность, сталкивается с серьезными экологическими ограничениями и технологическими трудностями при переработке упорного и техногенного сырья. Авторы [1] подчеркивают, что поиск альтернативных выщелачивающих реагентов обусловлен стремлением к экологически чистой металлургии и увеличению селективности извлечения.

Цианирование остается базовым процессом благодаря высокой термодинамической стабильности образующегося комплекса. Согласно фундаментальным исследованиям [2], механизм растворения описывается уравнением Эльснера:



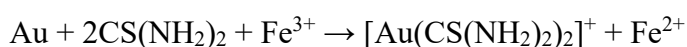
Однако, при наличии в руде сульфидов меди, расход цианида возрастает в десятки раз, что делает процесс экономически невыгодным.

Тиосульфатное выщелачивание рассматривается как наиболее перспективный нетоксичный метод. Согласно исследованиям [3], процесс катализируется ионами меди ( $\text{Cu}^{2+}$ ) и аммиаком, что позволяет эффективно извлекать золото из углистых руд, исключая эффект «preg-robbing» (пересаживание золота на природном угле). Реакция протекает по следующей схеме:



Преимуществом данного метода является высокая селективность. Однако авторы [4] указывают на сложность регенерации реагента и необходимость строгого контроля ОВП (окислительно-восстановительного потенциала) для предотвращения разложения тиосульфата.

Альтернативно, тиомочевинное выщелачивание в кислой среде демонстрирует высокую кинетику. Данный метод позволяет достичь целевого извлечения за 4-6 часов, в то время как цианирование требует до 24 часов. Реакция протекает с образованием катионного комплекса:



В последние годы внимание исследователей сосредоточено на синтетических заменителях. Авторы [1] описывают применение новых азотсодержащих соединений, которые менее токсичны, чем цианид, и легче поддаются деструкции. Также

перспективным направлением является использование глицина при переработке медьсодержащих золотых руд, что позволяет селективно растворять золото, предотвращая переход меди в раствор. Глицин ( $\text{NH}_2\text{CH}_2\text{COOH}$ ), являющийся простейшей аминокислотой, в последние годы стал предметом интенсивных исследований в гидрометаллургии золота как экологически безопасная и перспективная добавка к цианидному выщелачиванию. Его привлекательность обусловлена сразу несколькими факторами: низкой токсичностью, биологической разлагаемостью, способностью образовывать устойчивые комплексы с ионами цветных металлов, а также влиянием на кинетику растворения золота в присутствии кислорода или перекиси водорода.

Важным аспектом является совместное действие глицина с кислородом. Процесс цианидного выщелачивания золота является электрохимическим и протекает наиболее эффективно при достаточном доступе окислителя. Обычно таким окислителем выступает растворенный кислород, однако в ряде случаев его концентрация в системе оказывается ограничивающим фактором. Глицин способен стабилизировать и усиливать действие кислорода, а также катализировать реакции с участием перекиси водорода. В результате процесс растворения золота протекает быстрее, и на ранних стадиях выщелачивания фиксируется увеличение скорости перехода металла в раствор [5]. Сравнительный анализ реагентов, используемых в процессах выщелачивания золота приведен в таблице 1.

**Таблица 1 – Сравнительный анализ реагентов, используемых в процессах выщелачивания золота**

Реагент	Среда (pH)	Преимущества	Главный недостаток
Цианид	10,5 - 11,0	Низкая стоимость, высокая стабильность	Высокая токсичность, экологические риски
Тиосульфат	8,0 - 10,0	Эффективен для углистых руд	Высокий расход, сложность регенерации
Тиомочевина	1,0 - 2,0	Высокая скорость растворения Au	Быстрое разложение реагента
Глицин	10,0 - 11,5	Экологичность, селективность к меди	Требует повышенных температур

Проблема трудноизвлекаемости золота детально изучена в трудах [6], где подчеркивается, что тонкодисперсное золото, изолированное в пирите и арсенопирите, требует предварительного вскрытия. Для этих целей авторы [7] предлагают использовать методы интенсификации, такие как система окисление  $\text{H}_2\text{O}_2/\text{Fe}^{2+}$ , что позволяет разрушить сульфидную матрицу и открыть доступ реагенту к золоту. Анализ литературы показывает, что выбор реагента должен основываться на минералогии сырья. Цианирование позиционируется приоритетным методом переработки для большинства легкообогатимых золотосодержащих руд, тиосульфатные и глициновые технологии становятся экономически оправданными для упорного и техногенного сырья. Дальнейшие исследования должны быть направлены на повышение стабильности альтернативных реагентов в промышленных масштабах.

**Источники**

- 1 Zhang Y., Lyu X. et al. A review of gold extraction using alternatives to cyanide. // Minerals Engineering, 2022.
- 2 Котляр Ю. А., Стрижко Л. С. Металлургия благородных металлов. М.: МИСИС, 2005.
- 3 Aylmore M. G., Muir D. M. Thiosulfate as an alternative lixiviant to cyanide. // Hydrometallurgy, 2001.
- 4 Birich A., Friedrich B. A Review on Alternative Gold Recovery Reagents to Cyanide. // ResearchGate, 2016/2025.
- 5 Oraby, E. A., & Eksteen, J. J. "The leaching of gold, silver and their alloys in alkaline glycine-cyanide solutions" 2015.
- 6 Абдурахмонов С. А. Извлечение золота и сурьмы из упорных руд. Ташкент, 2015.
- 7 Chalker J. et al. Integrated methods for gold leaching and recovery. // ResearchGate, 2025.

УДК 66.0

## ПОЛУЧЕНИЕ ЧИСТОГО МЕТАВАНАДАТА АММОНИЯ ИЗ ТЕХНОГЕННОГО ВАНАДИЙСОДЕРЖАЩЕГО СЫРЬЯ

Жумақынбай Н., Бердиқұлова Ф.А., Өндіріс Б.Ғ.

*РГП «НЦ КПМС РК», г. Алматы, Казахстан*

Ванадий является переходным металлом V группы периодической системы и широко используется в промышленности благодаря способности существенно повышать прочностные, коррозионные и термостойкие характеристики материалов. Основная область применения ванадия связана с легированием сталей и сплавов, на долю которого приходится более 80 % мирового потребления, тогда как остальная часть используется в производстве катализаторов, химических соединений и электрохимических источников энергии, включая ванадиевые редокс-аккумуляторы [1, 2].

В условиях устойчивого роста спроса на ванадий и ограниченности первичных минеральных ресурсов всё больший интерес вызывает переработка вторичных ванадийсодержащих материалов, включая отработанные катализаторы нефтехимической промышленности, металлургические шлаки и золы сжигания топлива. Указанные техногенные отходы нередко содержат ванадий в концентрациях, сопоставимых или превышающих его содержание в природных рудах, а их переработка позволяет одновременно решать задачи ресурсосбережения и снижения экологической нагрузки [3]. Согласно данным Геологической службы США, мировые ресурсы ванадия оцениваются более чем в 60 млн т, при этом основные запасы и объёмы производства сосредоточены в Китае, России и Южной Африке, что подчёркивает стратегическую значимость данного металла [4].

Ключевым промышленным соединением ванадия является пятиокись ванадия ( $V_2O_5$ ), широко применяемая при производстве феррованадия, катализаторов сернокислотного процесса и электродных материалов для электрохимических накопителей энергии [5]. Наиболее распространённым способом получения  $V_2O_5$  является осаждение ванадия из очищенных растворов в виде метаванадата аммония ( $NH_4VO_3$ ) с последующей термической декомпозицией осадка. Данный технологический подход широко используется как при переработке рудного сырья, так и при вовлечении вторичных ванадийсодержащих ресурсов [6].

Повышенный интерес к получению высокочистого  $V_2O_5$  обусловлен его применением в каталитических и электрохимических системах, чувствительных к присутствию примесных элементов. В частности, соединения фосфора и серы оказывают негативное влияние на каталитическую активность и электрохимические характеристики материалов, что обуславливает необходимость разработки и внедрения технологий глубокой очистки ванадийсодержащих растворов до стадии осаждения ванадия [7]. В связи с этим в настоящей работе рассматривается получение метаванадата аммония из источников вторичного ванадийсодержащего сырья с последующим синтезом  $V_2O_5$ , характеризующегося минимальным содержанием серы и фосфора.

Исходным сырьём для получения пентаоксида ванадия ( $V_2O_5$ ) служат обожжённые отработанные катализаторы нефтеперерабатывающей промышленности. С целью удаления органической составляющей исходный материал подвергают высокотемпературному обжигу в печах, в результате чего формируются щелочные ванадийсодержащие растворы, используемые в последующей технологической схеме переработки. В работе описана технология получения высокочистого метаванадата аммония ( $NH_4VO_3$ ) из подобных техногенных материалов, загрязнённых фосфором и серой. Установлено, что прямое осаждение ванадия из щелочных растворов с

использованием сульфата аммония сопровождается интенсивным переходом примесных элементов в состав целевого продукта, что значительно снижает его чистоту и технологические свойства. В связи с этим проведение стадии предварительной очистки ванадийсодержащих растворов является принципиально важным этапом технологического процесса.

Содержание фосфора в твёрдых и жидких продуктах определяли фотоколориметрическим методом в соответствии с ГОСТ 22536.3, что обеспечивало сопоставимость и воспроизводимость аналитических данных. Концентрацию натрия в ванадийсодержащих растворах устанавливали методом пламенной фотометрии с использованием прибора ФПА-2-01 (АО «ЗОМЗ», Россия), тогда как количественное определение остальных элементов проводили методами классического химического анализа. Для извлечения ванадия из растворов в форме метаванадата аммония традиционно применяется осаждение с использованием сульфата аммония, что обусловлено его технологической доступностью и экономической целесообразностью. Однако установлено, что при отсутствии предварительной очистки растворов происходит интенсивное соосаждение примесей, прежде всего соединений серы и фосфора, в составе  $\text{NH}_4\text{VO}_3$ , что приводит к снижению химической чистоты продукта и ухудшению его последующих технологических характеристик. Получение высокочистого метаванадата аммония требует реализации поэтапной схемы очистки ванадийсодержащих растворов, при которой удаление фосфора является принципиально важной стадией, предшествующей осаждению ванадия. Проведение данной операции позволяет существенно снизить уровень фосфорсодержащих примесей и повысить качество конечного продукта.

Очистку ванадийсодержащих растворов от примесных компонентов осуществляли с использованием концентрированного раствора сульфата алюминия, обеспечивающего эффективное связывание фосфат- и силикат-ионов. В качестве альтернативы исследовали предварительное удаление фосфора с использованием оксида магния; однако магниевая очистка оказалась недостаточно эффективной и приводила к частичному соосаждению ванадия. В отличие от этого, применение сульфата алюминия позволило снизить концентрацию фосфора до 0,035 г/л (степень очистки около 90 %) и существенно повысить качество растворов для последующего осаждения ванадия. Для формирования метаванадата аммония из предварительно очищенных растворов в качестве предпочтительного реагента использовался нитрат аммония, который минимизирует поступление посторонних анионов в осадок. В отличие от традиционных осадителей – сульфата аммония, являющегося источником серы, и хлорида аммония, способствующего накоплению хлорид-ионов, нитрат аммония обеспечивает получение продукта с содержанием фосфора ниже предела обнаружения и минимальным уровнем серы. Анализ морфологии и структуры осадка после глубокой очистки показал, что полученные частицы соответствуют орторомбической кристаллической модификации метаванадата аммония: отсутствие сферических форм и наличие чётко выраженных кристаллографических граней свидетельствуют о сформировавшейся кристаллической структуре. Микроструктура порошка характеризуется высокой степенью кристалличности, развитой удельной поверхностью и повышенной реакционной способностью, что обеспечивает эффективность последующих процессов термического разложения и восстановительных операций, включая получение высокочистого пентаоксида ванадия ( $\text{V}_2\text{O}_5$ ) и металлического ванадия, пригодного для металлургического применения.

## Источники

- 1 Guo Y., Zhang Y., Bao S., Zhang T. Vanadium extraction from secondary resources: A review // Hydrometallurgy. 2019. Vol. 187. – P. 45-57.

- 2 Moskalyk R.R., Alfantazi A.M. Processing of vanadium: A review // Minerals Engineering. 2003. Vol. 16, No. 9. – P. 793-805.
- 3 Zhang Y., Bao S., Liu T., Chen T., Huang J. The technology of extracting vanadium from stone coal in China: History, current status and future prospects // Hydrometallurgy. 2018. Vol. 179. – P. 56-69.
- 4 U.S. Geological Survey. Mineral Commodity Summaries: Vanadium. U.S. Geological Survey, 2024.
- 5 Skyllas-Kazacos M., Chakrabarti M.H., Hajimolana S.A., Mjalli F.S., Saleem M. Progress in flow battery research and development // Journal of The Electrochemical Society. 2016. Vol. 158, No. 8. – P. R55-R79.
- 6 Chen Y., Feng Q., Shao Y., Zhang G., Ou L., Lu Y. Investigations on the extraction of molybdenum and vanadium from ammonia leaching residue of spent catalyst // International Journal of Mineral Processing. 2006. Vol. 79, No. 1. – P. 42.
- 7 Zhang W., Li H., Li X. Removal of phosphorus from vanadium-bearing solutions during hydrometallurgical processing // Separation and Purification Technology. 2021. Vol. 259. Art. 118123.

УДК 622.765

**МИНЕРАЛОГО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ВЕЩЕСТВЕННОГО  
СОСТАВА СУЛЬФИДНОЙ МЕДНОЙ РУДЫ МЕСТОРОЖДЕНИЯ  
ХАДЖИКОНГАН КАК ФАКТОР, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЙ ЭФФЕКТИВНОСТЬ  
ФЛОТАЦИОННОГО ОБОГАЩЕНИЯ**

**Жунусов Е.М., Каткеева Г.Л.**

*Филиал РГП «НЦ КПМС РК» «ХМИ им. Ж. Абишева», г. Караганда, Казахстан*

Сульфидные медные руды, характеризующиеся сложным вещественным составом, в настоящее время представляют собой одну из наиболее проблемных категорий сырья для флотационного обогащения. Тонковкрапленность медьсодержащих минералов, их тесные сростки с минералами пустой породы и значительная доля тонких фракций обуславливают снижение извлечения меди и ухудшение качества концентратов при использовании традиционных технологических схем [1, 2].

Месторождение Хаджиконган расположено в Центральном Казахстане и относится к медно-сульфидным объектам с полиминеральным составом руд. Геолого-промышленные особенности месторождения определяют сложную структуру рудного вещества, выраженную в неравномерном распределении медных минералов и их тесной ассоциации с силикатными минералами.

Главный полезный компонент в сульфидной пробе руды Хаджиконган – медь, ее содержание – 1,32 %. Содержание железа составляет 5,51 %, серы – 1,70%. Благородные металлы представлены серебром – 14,4 г/т; золото в пробе ниже порога обнаружения. Основным породообразующим компонентом в пробе является кремнезём, содержание которого 55,6 %. В значимых количествах присутствует  $Al_2O_3$  – 16,1 %,  $CaO$  4,75 %,  $MgO$  – 3,78 %,  $Na_2O$  – 2,77 %,  $TiO_2$  – 0,89 %,  $P_2O_5$  – 0,42 %,  $MnO$  – 0,15 %. Углерода в пробе – 0,13%.

Основными медьсодержащими минералами являются сульфиды меди, преимущественно халькопирит, который встречается в виде тонких вкраплений и сложных сростков с кварцем, полевыми шпатами, эпидотом, хлоритом и слюдистыми образованиями.

Минералого-технологический анализ показал, медь в сульфидной руде месторождения Хаджиконган преимущественно представлена халькопиритом, находящимся в виде тонковкрапленных включений и мелких зёрен, неравномерно распределённых в объёме породы. Значительная часть халькопирита характеризуется тесными сростками с кварцем и другими минералами пустой породы, что ограничивает степень его раскрытия при промышленной тонкости измельчения и снижает флотационную активность медьсодержащих минералов.

Преобладание сложных сростков «медьсодержащие сульфиды – пустая порода» где халькопирит образует сложные сростки с силикатными минералами – полевыми шпатами, эпидотом, хлоритом и слюдистыми образованиями. Указанные минералы склонны к шламованию, что приводит к ухудшению селективности флотации, росту механического уноса пустой породы в концентрат и снижению его качества. Преобладание таких сростков является одним из ключевых факторов недостижения проектных показателей флотационного обогащения.

Сочетание тонковкрапленности медьсодержащих минералов, сложного характера их сростков и значительного содержания шламуемых силикатов формирует минералого-технологическое ограничение эффективности флотационного обогащения, которое не может быть устранено исключительно изменением реагентного режима без учёта вещественного состава руды. Аналогичные закономерности ранее были отмечены

при исследовании сульфидных медных руд ряда месторождений Казахстана, для которых характерна высокая чувствительность флотационных показателей к степени раскрытия минералов [3].

Гранулометрический состав руды Хаджиконган характеризуется значительным содержанием тонких и ультратонких классов, в которых сосредоточена существенная доля меди. Наличие свободных медьсодержащих зёрен размером менее 20 мкм отрицательно сказывается на кинетике флотации, устойчивости пенного слоя и селективности процесса. В условиях присутствия силикатных минералов, склонных к шламованию, возрастает механический унос пустой породы в концентрат, что приводит к снижению его качества и усложняет последующие операции переработки.

Таким образом, вещественный состав сульфидной медной руды месторождения Хаджиконган является одним из определяющих факторов, ограничивающих достижение высоких качественно-количественных показателей флотационного обогащения. Выявленные минералого-технологические особенности обосновывают необходимость комплексного подхода к оптимизации процессов рудоподготовки и флотации с учётом характера сростков, степени раскрытия и поведения тонких классов.

### **Источники**

- 1 Зеликман А.Н., Коршунов И.Н., Шнеерсон Я.М. Теория и практика флотации руд. – М.: Недра, 1983. – 448 с.
- 2 Калмыков В.В., Филимонов Ю.А., Кузьмин В.И. Минералого-технологические основы обогащения медных руд. – М.: Недра, 1990. – 256 с.
- 3 Калмыков В.В., Тен В.А., Ахметов Ж.С. Особенности вещественного состава и обогатимость сульфидных медных руд Казахстана // Обогащение руд. – 2016. – № 4. – С. 15–21.

ӘОЖ: 669.243

## ГОРНОСТАЕВ КЕН ОРНЫНЫҢ ТОТЫҚҚАН МАГНЕЗИЯЛЫҚ-ТЕМІРЛІ НИКЕЛЬ КЕНДЕРІН ГИДРОМЕТАЛЛУРГИЯЛЫҚ ӨНДЕУ

Қали А.Ә.<sup>1</sup>, Шаяхметова Р.А.<sup>1</sup>, Молдабаева Г.Ж.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> «ҚР МШКҚӨ ҰО» РМК, Алматы қ. Қазақстан

<sup>2</sup> «Қ.И. Сәтбаев атындағы ҚазҰТЗУ» КеАҚ, Алматы қ., Қазақстан

Аккумуляторлық технологиялардың, электр көлігінің және арнайы қорытпалар өндірісінің дамуына байланысты никель тұтынудың тұрақты өсуі жағдайында, никель мөлшері төмен және минералдық құрамы күрделі тотыққан никель кендерін өңдеуге бағыттау өзекті ғылыми-техникалық міндет болып табылады. Қазақстан Республикасында никель ресурстарының айтарлықтай бөлігі латеритті типтегі тотыққан магнийлі-темірлі кендер түрінде берілген, оларды дәстүрлі пирометаллургиялық әдістермен өңдеу энергияны көп қажет етеді және экономикалық тұрғыдан тиімділігі төмен.

Бұл кендердің өзіндік ерекшелігі – магний мен темірдің жоғары мөлшері, никельдің силикатты және гидросиликатты фазалар құрамында болуы, сондай-ақ физикалық әдістермен байытылу мүмкіндігінің төмендігі. Осыған байланысты, никельді селективті алуды және сонымен қатар тауарлық магний және темір құрамды өнімдер алуды қамтамасыз ететін тиімді гидрометаллургиялық технологияны әзірлеу өзекті ғылыми және тәжірибелік міндет болып табылады [1, 2].

Зерттеудің мақсаты тауарлық өнімдерді (никель, кобальт оксидтері және құрамында магний бар қосылыстар) ала отырып, тотыққан магнезиялық-темірлі никель кендерін тұз қышқылы арқылы өңдеудің кешенді технологиясын әзірлеу болып табылады.

Зерттеу нысаны ретінде құрамында Ni – 0,87%; Fe – 10,8%; Mg – 14,25% бар Горностаевское кен орнының кені пайдаланылды. Минералогиялық талдау лизардиттің (39,8%), антигориттің (9,5%) және непуиттің (7,1%) басым екендігін көрсетті.

Кеннің заттық және фазалық құрамын зерттеу үшін рентгенфазалық талдау, энергия- дисперсиялық талдауы бар сканерлеуші электрондық микроскопия, сондай-ақ химиялық талдау әдістері қолданылды. Гидрометаллургиялық зерттеулер технологиялық параметрлерді (температура, ұзақтығы, реагент концентрациясы, қатты мен сұйықтың арақатынасы, араластыру жылдамдығы) өзгерте отырып, атмосфералық қышқылдық шаймалау бойынша зертханалық тәжірибелерді қамтыды [1, 3].

Эксперименттерді жүргізу үшін фракциясы –2+1 мм кен (салмағы 200 г) пайдаланылды. Тандалған бөлшектер өлшемі құрамдас бөліктердің бөлініп алу жылдамдығы мен түзілетін пульпаның сүзілу қабілеті арасындағы теңгерімді қамтамасыз етеді. Неғұрлым ұсақ кластарды (<0,5 мм) пайдаланудан бас тарту олардың сүзгіш қалқаларды бөгейтін коллоидты кремнезем түзуге бейімділігімен байланысты.

Өңдеудің негізгі әдісі ретінде атмосфералық тұз қышқылды шаймалау таңдалды. Эксперименттер зертханалық стақандар мен реакторларда негізгі параметрлерді: қышқыл концентрациясын, кеннің ірілігін және процесс ұзақтығын өзгерте отырып жүргізілді.

Тұз қышқылымен атмосфералық шаймалау тотыққан магнийлі-темірлі никель кендерінен никельді, магнийді және темірді алудың тиімді әдісі екендігі эксперимент түрінде дәлелденді. Процестің оңтайлы жағдайлары ретінде келесі параметрлер белгіленді: температура 85 °С, HCl концентрациясы 18 масс. %, К:С қатынасы = 1:4, ұзақтығы 120 мин және араластыру жылдамдығы 400 айн/мин. Осы параметрлер кезінде никельді алу дәрежесі 90 %-дан астам, магнийдікі – шамамен 98–99 %, темірдікі – 93 %-дан жоғары көрсеткішке жетті [1].

Өзірленген технология кремнеземді кекті дәйекті қарсы ағынды үш сатылы шаюды қарастырады. Схеманың ерекшелігі – шайынды суларының тұйық айналымында: бірінші шаю сатысынан алынған су (құрамында 8,3 г/л-ге дейін Mg бар) шаймалау ерітіндісін дайындау кезеңіне толығымен қайтарылады. Бұл келесі мүмкіндіктерді береді:

– Өнімді ерітіндідегі магний концентрациясын 31-32 г/л-ге дейін арттыру.

– Ағын суларды барынша азайту есебінен өндірістің жоғары экологиялық қауіпсіздігін қамтамасыз ету.

Шаймалаудан кейін өнімді ерітінділер темір қоспаларынан гидролитикалық тазартуға және кейіннен құнды құрамдас бөліктерді тұндыруға жіберіледі. Технологияның соңғы өнімдері:

– Никель құрамды концентраттар (никельдің ерітіндіге алынуы 90-92% құрайды).

– Магний құрамды қосылыстар (магний сульфаттары/хлоридтері).

– Кремнеземді кек, ол 105°C температурада кептірілгеннен кейін құрылыс материалдары өнеркәсібінде әрі қарай пайдалануға жарамды [4, 5].

Жүргізілген зерттеулер Горностаевское кен орны кендерінің гидрometаллургиялық өңдеуге технологиялық тұрғыдан жоғары жарамдылығын растайды. Процестің оңтайлы параметрлері: кен фракциясы –2,0 + 1,0 мм, тұз қышқылының концентрациясы 18%, температура 85-90 °C және ұзақтығы 120 минут болып табылады. Ұсынылған кешенді тәсіл түсті металдарды бөліп алуға ғана емес, сонымен қатар кеннің магнийлі-кремнийлі негізін ұтымды пайдалануға мүмкіндік береді, бұл процестің ресурстық үнемділігі мен экологиялық тиімділігін қамтамасыз етеді.

## Әдебиеттер

- 1 Shayakhmetova, R., Mukhametzhanova, A., Osipov, P. et al. Mechanism, kinetics and thermodynamics of nickel, iron, and magnesium hydrochloric acid leaching from laterite ore. *Sci Rep* 15, 41342 (2025). <https://doi.org/10.1038/s41598-025-25276-x>
- 2 Мамырбайева, К. К., Куандыкова, А. Н., Чепуштанова, Т. А. & Меркибайев, Ү. С. Review of technology for hydrometallurgical processing of lateritic nickel ores over the past 20 years in the world. *Non Ferr. Met.* 13–21; <https://doi.org/10.17580/nfm.2024.01.03> (2024)
- 3 Xiong, X. et al. Hydrometallurgical process and recovery of valuable elements for limonitic laterite: a review. *Chin. J. Chem. Eng.* 73, 189–201 (2024)
- 4 Alonso, E. et al. World Minerals Outlook – Cobalt, Gallium, Helium, Lithium, Magnesium, Palladium, Platinum, and Titanium through 2029. *Scientific Investigations Report (US Geological Survey, 2025)*
- 5 Pandey, N., Tripathy, S. K., Patra, S. K. & Jha, G. Recent progress in hydrometallurgical processing of nickel lateritic ore. *Trans. Indian Inst. Met.* 76, 11–30 (2023).

УДК 622.7:622.341.1:669.054

## **ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ВОВЛЕЧЕНИЯ ХВОСТОВ БАЛХАШСКОЙ ОБОГАТИТЕЛЬНОЙ ФАБРИКИ В ПЕРЕРАБОТКУ В УСЛОВИЯХ ДЕФИЦИТА СЫРЬЕВОЙ БАЗЫ БАЛХАШСКОГО РЕГИОНА**

**Кожобеков Б.Б., Каткеева Г.Л.**

*Филиал РГП «НЦ КПМС РК» «ХМИ им. Ж. Абишева», г. Караганда, Казахстан*

В современных условиях переработки минерального сырья наблюдается устойчивая тенденция к истощению легкообогатимых медных руд и расширению вовлечения в промышленную переработку сырья со сложным и неоднородным вещественным составом. В этой связи особую актуальность приобретает детальный анализ минералого-технологических особенностей сульфидных медных руд и техногенных продуктов, которые в значительной степени определяют эффективность флотационного обогащения и возможности вторичного извлечения меди [1].

Для хвостов флотационного обогащения, формирующихся при переработке сульфидных медных руд с вовлечением шлаков металлургического производства, характерен крайне сложный вещественный состав и выраженная минералогическая неоднородность. Минералогические исследования проб хвостов Балхашской обогатительной фабрики показали, что доминирующим минералом является магнетит, тогда как пирит и халькопирит присутствуют в подчинённом количестве и характеризуются неравномерным распределением по классам крупности.

Существенной особенностью исследуемых лежалых хвостов является присутствие значительного количества продуктов металлургического передела, представленных обломками отвалных шлаков. Вследствие этого рудные минералы в составе хвостов относятся к двум различным группам. Первая группа представлена первичными рудными минералами, не подвергавшимися металлургическому воздействию и сохранившими природные текстурно-структурные признаки. Вторая группа включает продукты металлургического передела, в которых медьсодержащие компоненты локализованы преимущественно в силикатной матрице шлаков.

Установлено, что основная часть полезных компонентов второй группы характеризуется тесной связью с силикатной фазой и практически не поддаётся отделению механическими методами. Рудные зёрна данной группы отличаются ультратонкими и тонкими размерами, как правило в пределах 1–25 мкм, что сохраняется даже при интенсивном измельчении материала. Такое состояние минеральных форм меди существенно ограничивает степень их раскрытия и негативно сказывается на селективности флотационного процесса при переработке лежалых хвостов Балхашской обогатительной фабрики.

Медь в хвостах представлена преимущественно в виде тонковкрапленных сульфидных и металлических включений, находящихся в сложных сростках с силикатной матрицей шлаков, а также с кварцем, алюмосиликатами и карбонатными минералами. Как отмечается в работах отечественных и зарубежных исследователей, именно сложный характер сростков и высокая доля частично раскрытых медьсодержащих фаз в хвостах являются одной из основных причин повышенных потерь меди и снижения эффективности её вторичного извлечения методами флотации [2, 3].

Дополнительным фактором, осложняющим переработку указанных хвостов, является их тонкодисперсный гранулометрический состав, сформированный в результате многократных циклов измельчения и флотационной переработки рудно-шлакового сырья. Преобладание шламовых фракций с высокой удельной поверхностью

и изменёнными поверхностными свойствами приводит к нестабильному поведению частиц в пенной фазе, снижению селективности флотации и перерасходу реагентов. В результате ухудшается качество получаемых концентратов и возрастает доля трудноизвлекаемых форм меди в хвостах флотации [4].

Проведённый анализ показывает, что применение универсальных флотационных схем без учёта специфики вещественного состава и минералогических особенностей хвостов не обеспечивает устойчивых технологических показателей. В этой связи обоснована необходимость перехода к адаптированным технологическим решениям, основанным на комплексном учёте минералого-технологических характеристик сырья, оптимизации режимов измельчения и целенаправленной корректировке реагентных режимов, что рассматривается как обязательное условие повышения эффективности флотационного обогащения в современных условиях переработки сложного медьсодержащего сырья.

### **Источники**

- 1 Зеликман А.Н., Корольков И.А. Обогащение медных руд. – М.: Недра, 1982. – 344 с.
- 2 Вайсберг Л.А., Каминский В.Д. Минералого-технологические основы переработки руд. – М.: Горная книга, 2010. – 456 с.
- 3 Valderrama L., Tapia J., Pavez O., et al. Recovery of Copper from Tailings by Flotation: Mineralogical Constraints and Process Limitations // Minerals. – 2023. – Vol. 13. – No. 9. – Art. 1128.
- 4 Wills B.A., Finch J. Wills' Mineral Processing Technology. – 8th ed. – Oxford: Butterworth-Heinemann, 2016. – 512 p.

УДК 661.183.2

## ПРИМЕНЕНИЕ УГЛЕРОДНЫХ СОРБЕНТОВ ИЗ ТЕХНОГЕННОГО И МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ ДЛЯ ОЧИСТКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕНИЙСОДЕРЖАЩИХ РАСТВОРОВ ОТ ОРГАНИЧЕСКИХ ПРИМЕСЕЙ И ИЗВЛЕЧЕНИЯ РЕНИЯ

Кабланбеков А.А., Ефремова С.В.

*РГП «НЦ КИМС РК», г. Алматы, Казахстан*

**Введение.** В современных условиях развития горно-металлургической промышленности возрастает актуальность разработки эффективных методов очистки технологических растворов от органических примесей и извлечения ценных и редких металлов [1]. Одним из таких металлов является рений, широко применяемый в авиационно-космической технике, нефтехимии и электронной промышленности. Наличие органических примесей в технологических ренийсодержащих растворах существенно снижает эффективность процессов извлечения рения, что обуславливает необходимость их предварительного удаления.

Перспективным направлением решения данной задачи является использование углеродных сорбентов, полученных из доступного техногенного и растительного сырья [2-3]. Применение мелочи спеккокса и углеродного сорбента на основе рисовой шелухи позволяет не только повысить эффективность сорбционных процессов, но и обеспечить рациональную переработку промышленных отходов [4]. Углеродные сорбенты характеризуются развитой пористой структурой, высокими сорбционными свойствами, механической прочностью и возможностью регенерации, что делает их перспективными для многократного использования в гидрометаллургических процессах.

**Научная новизна** работы заключается в разработке и внедрении нового подхода к очистке технологических ренийсодержащих растворов, основанного на использовании каскадной сорбционной установки с композиционным сорбентом из мелочи спеккокса и рисовой шелухи (РШп-АЩ), обеспечивающего селективное удаление органических примесей и извлечение рения.

**Цель работы.** Тестирование совместного использования углеродных сорбентов на основе мелочи спеккокса и рисовой шелухи на каскадной установке в условиях опытного производства.

**Основные результаты.** Для очистки от органических примесей и сорбции рения использовали композиционный сорбент, полученный из отходов коксового и рисового производств.

Для проведения испытаний был подготовлен технологический ренийсодержащий раствор, полученный путём выщелачивания свинцового кека медного производства.

Химический состав раствора (мг/дм<sup>3</sup>):

- рений – 40-460,
- органические примеси – 46-760.

Испытания проводили на каскадной установке, состоящей из 6 сорбционных колонн. В колонны №№ 1-3, объемом 0,5 л каждая, загружали по 0,16 кг сорбента из мелочи спеккокса (СК) для очистки технологического раствора от органических примесей. Общая масса сорбента СК, использованного в процессе, составила 0,8 кг. В сорбционные колонны №№ 4-6, объемом 0,1 л каждая, загружали по 0,008 кг сорбента из рисовой шелухи (РШп- АЩ) для осаждения рения. Общая масса сорбента РШп-АЩ,

использованного в процессе, составила 0,120 кг.

Раствор подавали в первую колонну с помощью перистальтического насоса с удельной нагрузкой 1 ч<sup>-1</sup>. Из первой колонны в последующие раствор поступал самотеком. Удельная нагрузка в колоннах №№ 4-6 составила 4 ч<sup>-1</sup>.

Для контроля эффективности сорбционного процесса по удалению органических соединений и извлечению рения, а также определения момента замены сорбента на выходе из каждой колонны через каждые 2 часа отбирались пробы фильтрата. Полученные порции раствора объединялись по каждой колонне и тщательно перемешивались. Таким образом, по каждой колонне формировались среднесуточные пробы. В указанных пробах определяли остаточное содержание органических примесей и рения.

Продолжительность работы установки составила 296 ч. За весь период установки было пропущено 126 л раствора.

По результатам исследования, степень очистки от органических примесей составила 62 %, степень извлечения рения – 89 %.

### **Выводы**

Полученные результаты продемонстрировали эффективность применения композиционного сорбента из мелочи спецкокса (СК) и рисовой шелухи (РШ<sub>п</sub>-АЩ) для удаления органических примесей с последующим высоким извлечением рения.

*Данное исследование выполнено при финансировании Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (номер гранта АР 19677767).*

### **Источники**

- 1 Efremova, S. V. Scientific and Technical Solutions to the Problem of Utilization of Waste from Plant- and Mineral-Based Industries // Russian Journal of General Chemistry, 2012, Vol. 82, pp. 963-968.
- 2 Kablanbekov A., Yefremova S., Berdikulova F. Satbaev S., Yermishin S., Shalabaev N., Satbaev B., Terlikbayeva A., Zharmenov A. Rice Husk Cellulose-Based Adsorbent to Extract Rare Metals: Preparing and Properties // Materials 2023, 16(18), 6277.
- 3 Satbaev B., Yefremova S., Zharmenov A., Kablanbekov A., Yermishin S., Shalabaev N., Satbaev A., Khen V. Rice husk research: from environmental pollutant to a promising source of organo-mineral raw materials // Materials 2021, 14, 4119.
- 4 Кабланбеков А.А., Ефремова С.В., Бердикулова Ф. А. Ермишин С.В. Терликбаева А.Ж., Сатбаев Б. Н. Жарменов А.А. Эффективные сорбенты для селективной очистки ренийсодержащих технологических растворов от органических примесей // Актуальные проблемы и инновационные технологии в области естественных наук, Международная научно-практическая конференция. Ташкент, 4-5 апрель 2024 год.

УДК 669.2/.8

## ПРИМЕНЕНИЕ АНИОНООБМЕННЫХ СМОЛ ДЛЯ УДАЛЕНИЯ МЕДИ ИЗ ЦИАНИСТЫХ РАСТВОРОВ

Каналы Е.С.

*Филиал РГП «НЦ КИМС РК» ГНПОПЭ «Казмеханобр», г. Алматы, Казахстан*

По сложности переработки комплексные, прежде всего медистые, руды занимают промежуточное положение между легкоцианируемыми и упорными золотосодержащими рудами. Около 20 % от общего числа золотых месторождений имеют значительную медную минерализацию, проявляющуюся в наличии таких минералов, как халькопирит, тетраэдрит, теннантит, борнит и халькозин. Наличие медных минералов вызывает потери золота за счет его цементации на их поверхности, а также определяет снижение показателей флотационного, сорбционного и электролизного переделов. Обычно содержание меди свыше 0,5 % в окисленных рудах и свыше 1 % – в сульфидных делает процесс прямого цианирования экономически неприемлемым.

Повышенное содержание меди в растворах снижает эффективность сорбционного извлечения золота и восстановление активности сорбентов, а также ухудшает растворение золота при выщелачивании за счёт пассивирующего действия меди.

В гидрометаллургических процессах переработки золотомедных руд ключевую роль среди сорбционных материалов играют синтетические ионообменные смолы, изготовленные на основе высокомолекулярных полимеров. К таким смолам предъявляется комплекс требований, включающий высокую обменную ёмкость, селективность по целевому металлу, достаточную механическую прочность, химическую стойкость в рабочих средах и экономическую целесообразность применения [1].

Ионообменная технология в гидрометаллургии меди ориентирована на селективное извлечение металла из бедных растворов сложного ионного состава, при этом эффективность процесса в значительной степени определяется как свойствами применяемой смолы, так и параметрами сорбционного режима. Извлечение металлов ионообменными смолами осуществляется по механизмам, аналогичным жидкостной экстракции, однако в данном случае активные функциональные группы, взаимодействующие с ионами металлов посредством ионного обмена или комплексообразования, ковалентно закреплены на твёрдой полимерной матрице, что исключает их переход в водную фазу [2].

Ионообменные смолы представляют собой синтетические материалы, состоящие из химически инертной матрицы, чаще всего сополимера стирола и дивинилбензола, и функциональных групп различной природы, обеспечивающих сорбцию ионов из раствора. В зависимости от условий получения различают смолы с гелеобразной и макропористой структурой. Макропористые смолы, получаемые с применением растворителей, обладают развитой внутренней поверхностью и повышенной механической прочностью, что делает их более предпочтительными для использования в сорбционных схемах извлечения золота и сопутствующих металлов.

Избирательность сорбции определяется химической природой функциональных групп смолы и их сродством к определённым ионам, что позволяет направленно извлекать металлы из многокомпонентных растворов [3].

В практике золотоизвлекательных предприятий, применяющих сорбционные технологии, наибольшее распространение получили анионообменные смолы марок АМ-2Б, АВ-17-8 и Purolite A500, характеризующиеся сочетанием удовлетворительных

сорбционных свойств, устойчивости и технологической надёжности. В таблице 1 приведены основные характеристики и параметры смол [4-6].

**Таблица 1 – Сравнительная характеристика анионообменных смол**

Параметры, свойства	Смола АМ-2Б	Смола АВ-17-8	Purolite A500
Тип ионита	Анионообменная смола смешанной основанности	Сильноосновная анионообменная смола	Сильноосновная анионообменная смола
Полимерная матрица	Сополимер стирола и DVB	Сополимер стирола и DVB	Макропористый полистирен, сшитый DVB
Функциональные группы	Четвертичные аммониевые	Четвертичные аммониевые	Катион аммония
Рабочая форма	Cl <sup>-</sup> , OH <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup> , OH <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup> , OH <sup>-</sup>
Обменная ёмкость	~1,2 мг-экв/см <sup>3</sup> (Cl <sup>-</sup> форма)	≥1,15 мг-экв/см <sup>3</sup>	~1,15 мг-экв/см <sup>3</sup> (Cl <sup>-</sup> форма)
Размер частиц	0,8–2,0 мм	~0,4–1,25 мм	~0,8–1,2 мм
Строение (гель/макропора)	Макропористая	Гелевая	Макропористая

В работе [7, 8] были исследованы сорбционные характеристики анионообменных смол АМ-2Б, АВ-17-8 и Purolite А-500 при извлечении золота, меди и кобальта из продуктивных и обеззолоченных растворов кучного выщелачивания. Показано, что наибольшей сорбционной ёмкостью по меди обладает смола АВ-17-8, несколько уступает ей Purolite А-500, тогда как смола АМ-2Б характеризуется пониженной способностью к сорбции меди и кобальта. При этом установлено, что ёмкость исследованных смол по золоту сопоставима, однако смола АМ-2Б проявляет повышенную селективность по отношению к золоту [7, 8].

### Источники

- 1 Набойченко С. С., Смирнов В. И. Гидрометаллургия меди. – Москва: Издательство «Металлургия», 1974. 68 с.
- 2 Захаров Б.А., Меретуков М.А. Золото: Упорные руды. – Москва: Издательство «Руда и Металлы», 2013. 324 с.
- 3 John O. Marsden, C. Iain House. Chemistry of Gold Extraction (2nd Edition). - Littleton, Colorado, USA: «Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc», 2006. 337 p.
- 4 Purolite Resin A 500 / 2788 Strong Base Anion Macroporous [Электронный ресурс]. URL: <https://www.lenntech.com/products/Purolite-Resin/A500/-2788/A-500/-2788-Strong-Base-Anion-Macroporous/index.html>
- 5 Анионит АВ-17-8 [Электронный ресурс]. URL: <https://smoly.ru/catalog/anionit/anionit-av-17-8/>
- 6 Смолы ионообменные: КУ-2-8, АВ-17, АМ-п, АМ-2Б [Электронный ресурс]. URL: <https://supl.biz/smolyi-ionoobmennye-ku-2-8-av-17-am-p-am-2b-p9281002/>

- 7 E. S. Kanaly, B. N. Surimbaev, L. S. Bolotova, S. T. Shalgymbaev. Choice of a Sorbent for Copper and Cobalt Sorption from Gold-Containing Heap Leaching Solutions // Metallurgist. – 2024. Vol. №67. С. 1457-1465. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11015-024-01638-0>
- 8 Алтынбек Ш. Ч. Разработка комбинированной технологии десорбции золота из насыщенных смол в присутствии металлов-примесей. – Алматы: Диссертационная работа, 2018. 43-56 с.

ӘОЖ: 669.24:669.3

## ЛАТЕРИТТІ НИКЕЛЬ КЕНДЕРІН ГИДРОМЕТАЛЛУРГИЯЛЫҚ ӘДІСТЕРМЕН ҚАЙТА ӨНДЕУДІҢ НЕГІЗГІ БАҒЫТТАРЫ

Куандыкова А.Н.<sup>1,2</sup>, Мамырбаева К.К.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> «ҚР МШКҚӨ ҰО» РМК, Алматы қ. Қазақстан

<sup>2</sup> К.И. Сәтбаев атындағы университеті, Алматы қ., Қазақстан

**Кіріспе.** Соңғы жылдары никель мен кобальттың стратегиялық маңызы айтарлықтай артып отыр, бұл ең алдымен электр көлігінің жаппай енгізілуімен, литий-иондық аккумуляторлар өндірісінің ұлғаюымен және жаңартылатын энергетика секторындағы технологиялық серпінмен байланысты. Халықаралық энергетикалық агенттіктің деректеріне сәйкес, 2050 жылға қарай таза энергия технологиялары үшін никельге деген сұраныс қазіргі деңгеймен салыстырғанда 10-30 есе, ал кобальтқа деген сұраныс 9-32 есе өсуі мүмкін. Әлемдік никель ресурстарының басым бөлігі төмен құрамды тотыққан кендер – латериттер үлесіне тиесілі, олардың үлесі 85 %-дан асады [1]. Сонымен бірге латеритті кендердің күрделі минералогиялық құрылымы, темір мен магнийдің жоғары мөлшері және мақсатты металдардың салыстырмалы төмен концентрациясы оларды өнеркәсіптік қайта өңдеуді технологиялық тұрғыдан күрделі міндетке айналдырады.

Бұл жұмыстың мақсаты – латеритті никель кендерін қайта өңдеудің қазіргі заманғы гидрометаллургиялық және біріктірілген технологияларына талдау жасап, әлемдік өнеркәсіптік тәжірибені қорыту және оларды Қазақстан кен орындары жағдайында қолдану мүмкіндіктерін бағалау.

Латеритті кендер ультранегізді жыныстардың тропикалық және субтропикалық климат жағдайларында үгілуі нәтижесінде қалыптасады. Геологиялық тұрғыдан олар лимонитті және сапролитті типтерге бөлінеді. Лимонитті кендерде негізгі минералдық фаза ретінде гетит пен гидрогетит басым, ал никель олардың кристалдық құрылымында изоморфты түрде таралған. Сапролитті кендер магний силикаттарына бай болып, никель мөлшері салыстырмалы түрде жоғарырақ (1,5-2,5 %). Қайта өңдеу технологиясын таңдау кеннің химиялық-минералогиялық ерекшеліктеріне, SiO<sub>2</sub>/MgO, Fe/Ni және Ni/Co қатынастарына, сондай-ақ никель мен кобальттың минералдық фазаларда таралу сипатына байланысты анықталады. Никель мөлшері жоғары кендер үшін пирометаллургиялық әдістер экономикалық тұрғыдан тиімді болса, төмен құрамды және қиын байытылатын латериттер үшін гидрометаллургиялық және біріктірілген технологиялық сұлбалар басым бағыт ретінде қарастырылады [2].

### Латеритті кендерді қайта өңдеудің өнеркәсіптік процестері

#### *Карон технологиясы*

Карон технологиясы латеритті кендерді өңдеуде пирометаллургиялық және гидрометаллургиялық сатыларды біріктіретін алғашқы өнеркәсіптік тәсілдердің бірі болып табылады [3]. Процесс тотықсыздандырғыш күйдіруді (шамамен 850 °С) және кейінгі аммиакты ерітінділермен шаймалауды қамтиды. Әдістің ерекшелігі - никель мен кобальтқа қатысты жоғары талғамдылық және аммиакты ерітіндіні регенерациялау мүмкіндігі. Карон технологиясы Куба, Австралия және Бразилия кәсіпорындарында қолданылған. Негізгі өнімдер ретінде никель оксиді, никель ұнтағы және сульфидті концентраттар алынады. Никельдің алыну дәрежесі 90 %-дан төмен, ал кобальт 80 %-дан аспайды. Процестің негізгі шектеулері жоғары энергия шығыны және аммиакпен жұмыс істедудің экологиялық қауіптерімен байланысты.

### ***Жоғары қысымдағы күкіртқышқылды шаймалау (HPAL)***

HPAL технологиясы лимонитті латериттерден никель мен кобальтты өндіруде ең жоғары тиімділік көрсететін өнеркәсіптік әдістердің бірі болып табылады. Процесс автоклавтарда 240-270 °C температурада және 2000-4000 кПа қысымда жүргізіледі. Мұндай жағдайда металл алынуы 95 %-дан асады, ал шаймалау уақыты 60 - 90 минутпен шектеледі. Технология Филиппинде, Индонезияда және Австралияда кеңінен енгізілген [4]. Артықшылықтарына реакция жылдамдығының жоғарылығы және металл алынуының жоғары деңгейі жатады. Кемшіліктері ретінде қышқыл шығынының көптігі, коррозияға төзімді қымбат автоклав жабдықтарын қолдану қажеттілігі және жоғары күрделі шығындар аталады.

### ***Атмосфералық күкіртқышқылды шаймалау***

Атмосфералық шаймалау төмен құрамды және күрделі құрамды латериттерді кендерді өңдеуде кеңінен қолданылады. Процесс 80-100 °C температурада 6-12 сағат жүргізіледі. Никельдің алынуы 90-95 %, ал кобальт 80-85 % деңгейінде. Әдістің басты артықшылығы - күрделі шығындардың салыстырмалы түрде төмендігі. Негізгі кемшіліктері - қышқыл шығынының көптігі және процестің ұзақтығы [5].

### ***Үйінділік шаймалау***

Үйінділік шаймалау никель мөлшері төмен кен орындарын игеру үшін экономикалық тұрғыдан тиімді әдіс болып саналады. Бұл тәсіл Glencore, Vale, BHP және Anglo American кәсіпорындарында қолданылады. Процесс 30-40 тәулік жүргізіліп, никель алынуы 80-85 % деңгейіне жетеді [3]. Артықшылықтарына төмен күрделі шығындар мен технологиялық икемділік жатады. Кемшіліктері - ұзақ цикл және климаттық жағдайларға тәуелділік.

### ***Биогидрометаллургиялық процестер***

Биошаймалау ацидофильді микроорганизмдердің қатысуымен жүргізіледі [63-70]. Негізгі микроорганизмдерге Acidithiobacillus тобы жатады. Металл алынуы 70-85 % деңгейінде болғанымен, процесс баяу жүреді және кеннің минералогиялық құрамына жоғары дәрежеде тәуелді [6].

### ***Хлоридті шаймалау***

Хлоридті шаймалау атмосфералық жағдайда металл алынуының жоғары деңгейін қамтамасыз етеді. Jaguar Nickel жобасы өнеркәсіптік енгізу сатысында [7]. Алайда жабдықтардың коррозияға ұшырауы, жоғары құны және қауіпсіздік талаптарының қатандығы бұл технологияның кең таралуын шектейді.

Алдын ала күйдірумен біріктірілген шаймалау технологиялары әсіресе төмен құрамды және темір мөлшері жоғары латериттер үшін экономикалық тұрғыдан тартымды болып саналады. Бірқатар авторлар бұл тәсілдің автоклавтық HPAL технологиясымен салыстырғанда төмен қысымда жүзеге асырылатынын, қарапайым жабдықтарды қолдануға мүмкіндік беретінін және күрделі шығындарды айтарлықтай азайтатынын көрсетеді. Сонымен қатар, күйдіру нәтижесінде алынатын төмен темірлі ерітінділер кейінгі сұйықтықты экстракция және тазарту сатыларының тиімділігін арттырып, жалпы технологиялық сұлбаның икемділігін қамтамасыз етеді [8].

Қазақстан аумағында никель мөлшері 0,9-1,1 % және кобальт мөлшері 0,05-0,1 % болатын латеритті кендердің елеулі қорлары бар [1]. Жүргізілген зерттеулер күкіртқышқылды және хлоридті шаймалау әдістерінің тиімділігін, сондай-ақ алдын ала тотықтырғыш-сульфаттаушы күйдірумен біріктірілген технологиялардың тиімділігін көрсетті. Техногендік және байыту қалдықтарын қайта өңдеу жыл сайын шамамен 7 мың т никель мен 14 мың т кобальт өндіруге мүмкіндік береді.

### Қорытынды

Жүргізілген шолу латеритті никель кендерін қайта өңдеуде НРАЛ, атмосфералық және үйінділік шаймалау, сондай-ақ біріктірілген технологиялардың жетекші орын алатынын көрсетті. Металл алынуы бойынша ең жоғары тиімділік НРАЛ әдісіне тән болғанымен, оның жоғары күрделі шығындары мен технологиялық күрделілігі бұл технологияны төмен құрамды кендер үшін кең көлемде қолдануды шектейді.

Алдын ала күйдірумен біріктірілген шаймалау технологиялары төмен құрамды және темір мөлшері жоғары латериттер үшін тиімді балама бағыт ретінде қалыптасып отыр. Әдеби деректер мен Қазақстан кендері бойынша жүргізілген зерттеулер 450-700 °С температура диапазонында жүргізілетін сульфаттаушы күйдіру никель мен кобальттың талғамды бөлінуін қамтамасыз етіп, кейінгі шаймалауда олардың алынуын 90 %-дан жоғары деңгейге жеткізуге мүмкіндік беретінін көрсетті, ал темірдің ерітіндіге өтуі 5-10 % шегінде шектеледі.

Қазақстан жағдайында атмосфералық күкіртқышқылды шаймалау мен алдын ала тотықтырғыш-сульфаттаушы күйдірумен біріктірілген технологиялық сұлбалар техникалық-экономикалық тұрғыдан негізделген және өнеркәсіптік енгізуге тиімді бағыттар болып табылады. Сонымен қатар, техногендік шикізат пен байыту қалдықтарын қайта өңдеу никель мен кобальттың қосымша ресурстық базасын қалыптастырудың маңызды бағыты ретінде қарастырылуы тиіс.

### Әдебиеттер

- 1 Alonso, E. et al. World Minerals Outlook – Cobalt, Gallium, Helium, Lithium, Magnesium, Palladium, Platinum, and Titanium through 2029. Scientific Investigations Report (US Geological Survey, 2025).
- 2 Mamyrbayeva, K.K., Kuandykova, A.N., Chepushtanova, T.A., & Merkitabeyev, Y.S. (2024). Review on hydrometallurgical processing technology of lateritic nickel ore for the last 20 years in the world. *Non-Ferrous Metals*, 1, 13-21. <https://doi.org/10.17580/nfm.2024.01.03>
- 3 Zhang, Z.F., Zhang, W.B., Zhang, Z.G., & Chen, X.F. (2025). Nickel extraction from nickel laterites: Processes, resources, environment and cost. *China Geology*, 8(1). – 187-213.
- 4 Baking, A.A.R., Zhou, L., & Liu, W. (2025). The influence of nickel grade and its occurrence state on high pressure acid leaching behavior of lateritic nickel ores. *Journal of Mining and Metallurgy, Section B: Metallurgy*, 61(3). – 357-368.
- 5 Xiong, X., Ma, B., Li, X., Yu, J., Shi, L., Wang, C., & Chen, Y. (2024). Hydrometallurgical process and recovery of valuable elements for limonitic laterite: A review. *Chinese Journal of Chemical Engineering*, 73. – 189-201.
- 6 Watling, H. R. (2008). The bioleaching of nickel-copper sulfides. *Hydrometallurgy*, 91(1-4). – 70-88.
- 7 McDonald, R. G., & Whittington, B. I. (2008). Atmospheric acid leaching of nickel laterites review. Part II. Chloride and bio-technologies. *Hydrometallurgy*, 91(1-4). – 56-69.
- 8 Mamyrbayeva, K., Kuandykova, A., Chepushtanova, T., Merkitabeyev, Y., & Mishra, B. (2025). Investigation of the sulfation-roasting-water leaching process for efficient recovery of nickel and cobalt from Kazakhstan's laterite ore. *Canadian Metallurgical Quarterly*. – 1-16.

УДК 669.74:553.245+622.341.2

## ПОЛУЧЕНИЕ МАРГАНЦЕВЫХ ПРОДУКТОВ ИЗ ТЕХНОГЕННЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ

Макашев А.С.<sup>1</sup>, Атахан М.М.<sup>2</sup>, Дюсекеев Ж.Б.<sup>1</sup>, Куркин А.А.<sup>1</sup>, Мухтар А.А.<sup>2</sup>,  
Касымова Б.К.<sup>2</sup>, Сембекова А.Т.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>НАО «Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова»,  
г. Караганда, Казахстан

<sup>2</sup>Филиал РГП «НЦ КПМС РК» «ХМИ им. Ж. Абишева», г. Караганда, Казахстан

**Введение.** В настоящее время техногенное минеральное сырьё является перспективным, конкурентоспособным и постоянно пополняемым ресурсом [1]. Интерес к техногенным минеральным образованиям вызван тем, что запасы и качество руд действующих месторождений ухудшаются, тогда как в техногенных образованиях сосредоточены значительные объёмы сырья, сопоставимые с природными залежами. Дополнительным преимуществом является то, что материал уже добыт, находится на поверхности, предварительно измельчён, а полезные минералы частично освобождены от вмещающей породы.

Приведённые выше аргументы в равной степени применимы к хвостам, образующимся при переработке марганцевых руд [2]. Нередко при обогащении марганец извлекается лишь частично, и значительная его доля накапливается в отходах [3, 4].

В Казахстане крупный техногенный ресурс марганца сосредоточен в хвостохранилище Жездинской обогатительной фабрики. Запасы лежалых хвостов оценены следующим образом: категория С1 - 1 804,7 тыс. т, категория С2 - 512,2 тыс. т. со средним содержанием Mn 9,08% [5].

По данным Государственного кадастра средний химический состав хвостов, %: Mn 10,5; Fe 1,98; SiO<sub>2</sub> 32,0; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 7,2; CaO 3,1; MgO 1,2; Sr 0,04; Zn 0,02; Rb 0,018; Ag 1,6 г/т; Au 0,1 г/т [6].

**Объект исследования, основные результаты.** Для проведения лабораторных исследований на обогатимость недропользователем предоставлены представительные пробы из Жездинского хвостохранилища со следующим содержанием Mn: №1 – 9,82%; №2 – 10,23% и №3 – 11,60%.

Химический состав технологической пробы, полученной путём объединения трёх вышеперечисленных проб, характеризуется, в %: Mn – 10,59; Fe – 2,74; SiO<sub>2</sub> – 59,82. Влажность – 5,0 %. Насыпной вес – 1,52 г/см<sup>3</sup>.

Гранулометрический состав, в %: кл.кр. -5,0+2,0 – 1,36; -2,0+1,0 – 8,20; -1,0+0,5 – 28,06; -0,5+0,315 – 19,29; -0,315+0,16 – 22,00; -0,16+0,0 – 21,09.

Материал микроскопически представлен типично марганцовистым рудным материалом по текстурно-структурным и литологическим характеристикам приуроченные к кремнисто-известковым породам.

Основные рудные минералы – браунит, псиломелан, второстепенные – пиролюзит, родохрозит, манганит, гематит, родонит, среди нерудных – преимущественно кварц и силикатно-карбонатные глинистые песчаники. Железосодержащие минералы представлены магнетитом, лимонитом и гематитом, последний образует псевдоморфозы гематита по магнетиту с образованием мартита.

Рентгенофазовый анализ подтверждает присутствие в пробе марганцевых минералов, представленных главным образом браунитом (3Mn<sub>2</sub>O<sub>3</sub>·MnSiO<sub>3</sub>) и псиломеланом (MnO·MnO<sub>2</sub>·nH<sub>2</sub>O); в меньших количествах присутствуют гематит, магнетит и лимонит т.д. Нерудная составляющая включает калиевый полевой шпат, кварц, микроклин, серицит, каолинит, кальцит, хлорит и гипс.

Судя по вещественному составу и магнитным свойствам, рассматриваемая проба перспективна для сухой магнитной сепарации в сильном магнитном поле, поскольку основная часть марганца заключена в слабомагнитных минералах [7-8]. В таких условиях высокоинтенсивные сепараторы создают мощный магнитный градиент, способный притягивать даже тонковкрапленные зерна браунита, псиломелана и других оксидов марганца [9], тогда как немагнитные компоненты (кварц, полевые шпаты, глинистые минералы) переходят в хвосты. Сухой способ исключает необходимость водоснабжения и последующего обезвоживания продукта, что снижает эксплуатационные затраты и упрощает технологию.

Проведена сухая магнитная сепарация пробы на сепараторе 138Т при интенсивности магнитного поля 0,48 Тл, результаты которого приведены в таблице 1.

**Таблица 1 – Сухая магнитная сепарация пробы на сепараторе 138Т**

Продукт	Выход, %	Содержание, %			Извлечение, %		
		Mn	Fe	SiO <sub>2</sub>	Mn	Fe	SiO <sub>2</sub>
Исходная проба	100,00	10,59	2,74	59,82	100,00	100,00	100,00
МФ	24,71	29,73	4,32	33,12	69,40	39,00	13,68
НМФ	75,29	4,31	2,22	68,58	30,60	61,00	86,32
<b>ИТОГО</b>	<b>100,00</b>	<b>10,59</b>	<b>2,74</b>	<b>59,82</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>

Из данных таблицы следует, что содержание и извлечение Mn в магнитном продукте составляют соответственно 29,73% и 69,40% при выходе концентрата 24,71%. В магнитный продукт переходит лишь 39,00% железа из-за преобладания немагнитных форм Fe (гематит, лимонит); основная его доля (61,00%) остаётся в хвостах. Одновременно 68,58% SiO<sub>2</sub> переходит в немагнитный продукт, что подтверждает эффективность применения магнитной сепарации при выбранной интенсивности магнитного поля.

### **Выводы**

1. Изучен химический и вещественный состав представительной пробы лежалых хвостов обогащения марганцевых руд Жездинской обогатительной фабрики.
2. Анализ вещественного состава и магнитных свойств пробы лежалых хвостов Жездинской ОФ показывает, что она является перспективным объектом для сухой магнитной сепарации в высокоинтенсивном магнитном поле, поскольку основная часть марганца сосредоточена в слабомагнитных минералах таких как, браунит, псиломелан и др.
3. Подтверждена эффективность сухой магнитной сепарации хвостов Жездинской ОФ на сепараторе 138Т при индукции 0,48 Тл: получен магнитный концентрат с Mn 29,73%, что соответствует 2,8-кратному увеличению содержания марганца по сравнению с исходным сырьём; тенденция концентрирования марганца в магнитном продукте подтверждена результатами химического анализа.

### **Источники**

- 1 Луговская И.Г., Якушина О.И., Печенкин И.Г. «Управление переработкой минерального сырья по комплексному принципу – основа безотходного производства» // ГИАБ. – 2025. – № 1. – С. 154–167. DOI 10.25018/0236-1493-2025-1-0-154. giab-online.ru

- 2 Информационный обзор по результатам ведения Государственного кадастра отходов за 2021 год (ecogofond.kz). DOI:[https://ecogofond.kz/wp-content/uploads/2022/12/Informacionnyj-obzor\\_2021.pdf](https://ecogofond.kz/wp-content/uploads/2022/12/Informacionnyj-obzor_2021.pdf)
- 3 Дюсенбеков К.Б., Шехирев Д. В. Марганцевые руды: объёмы переработки и методы обогащения // Известия УГГУ. — 2024. — Вып. 3(75). — С. 124–132. DOI 10.21440/2307-2091-2024-3-124-132. iuggu.ru
- 4 Wu H.L., Zhang Y., Liu J. A novel strategy for efficient utilization of manganese tailings: High SO<sub>2</sub> resistance SCR catalyst preparation and faujasite zeolite synthesis // Waste Management. – 2023 – 164. – P.66–73. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2023.03.038>
- 5 Мустахимов А.Т., Зейнуллин А.А., Мусин М.Т. Исследование вещественного состава и обогатимости марганецсодержащих хвостов Жездинской обогатительной фабрики // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. - 2020. - № 3. - С. 75–82. DOI: <https://doi.org/10.17513/mjpf.13039>
- 6 Министерство экологии, геологии и природных ресурсов Республики Казахстан. (2018). Информация об организации обращения с отходами в регионах Республики Казахстан Retrieved from <https://ecogofond.kz/kz-ndiris-zh-ne-t-tynu-aldy-taryny-memlekettik-kadastry-ru-gosudarstvennyj-kadastr-othodov-proizvodstva-i-potrebleniya>.
- 7 Huang Q., Li T., Gao J. et al. Preparation of Mn<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> composites with superior zinc storage performance by utilizing the leaching solution of manganese ore tailing // Journal of Power Sources. – 2025 – Vol. 652:237584. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2025.237584>
- 8 Мухтар А.А., Макашев А.С., Касымова Б.К., Кочегина Е.В., Атахан М.М. Техногендік марганец қалдықтарын магниттік байыту мүмкіндігін зерттеу // Наука и техника Казахстана. – 2025- №4. – С.330-340. <https://doi.org/10.48081/GDOV2218>
- 9 Eghbali R., Abdollahy M., Ashtari P. Recovery of manganese from a low-grade waste and valorization via the synthesis of a nanostructured magnetic manganese ferrite // Materials Science and Engineering B. – 2021. – Vol.269:115177. <https://doi.org/10.1016/j.mseb.2021.115177>

УДК 669.12:553.31

## ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ ЖЕЛЕЗОРУДНОГО КОНЦЕНТРАТА ИЗ ТЕХНОГЕННЫХ ОБРАЗОВАНИЙ

Макашев А.С.<sup>1</sup>, Атахан М.М.<sup>2</sup>, Мұгал Ж.С.<sup>1</sup>, Мухтар А.А.<sup>2</sup>, Касымова Б.К.<sup>2</sup>, Сембекова А.Т.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>НАО «Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова»,  
г. Караганда, Казахстан

<sup>2</sup>Филиал РГП «НЦ КПМС РК» «ХМИ им. Ж. Абишева», г. Караганда, Казахстан

**Введение.** Развитие горно-металлургического комплекса Республики Казахстан сопровождается накоплением значительных объемов техногенных минеральных образований, содержащих железо и другие ценные компоненты [1]. Несмотря на высокий потенциал, данное сырье длительное время остается невостребованным вследствие сложного вещественного состава и повышенного содержания примесей. В современных условиях рационального недропользования и ресурсосбережения переработка техногенных образований приобретает особую актуальность [2]. В работе рассматриваются технологические особенности получения железорудного концентрата из техногенного сырья с использованием магнитных методов обогащения. Проведенные исследования направлены на повышение содержания железа в концентрате и снижение содержания серы до нормативных значений, что позволяет рассматривать техногенные образования как перспективный источник вторичного железорудного сырья [3].

**Объект и методы исследования.** Объектом исследования являлись техногенные образования. Лабораторные исследования выполнены на технологических пробах, отобранных в соответствии с технологическими условиями проведения лабораторных испытаний. В качестве основных методов использованы дробление, измельчение и магнитная сепарация.

Химический состав исходного материала, мас. %: Fe – 41,13; S – 3,10; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 4,21; SiO<sub>2</sub> – 59,82. Влажность пробы составила 5,0%. Насыпная плотность – 1,52 г/см<sup>3</sup>.

Гранулометрический состав исходного материала определяли ситовым анализом; результаты приведены в таблице 1.

**Таблица 1 – Гранулометрический состав исследуемого техногенного сырья**

Кл. кр., мм	γ, %	Содержание, %				Извлечение, %			
		Fe	S	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Fe	S	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>
Исходный	100,0	41,13	3,10	4,21	18,49	100,0	100,0	100,0	100,0
-10,0+5,0	48,05	39,43	2,48	4,29	18,31	46,06	38,44	48,96	47,58
-5,0+3,0	18,39	42,37	2,70	3,91	16,56	18,94	16,02	17,08	16,47
-3,0+2,0	3,19	42,10	2,81	3,85	17,19	3,27	2,89	2,92	2,97
-2,0+1,0	9,79	41,57	3,90	3,85	16,68	9,90	12,32	8,95	8,83
-1,0+0,5	6,28	41,03	4,91	3,75	15,80	6,26	9,95	5,60	5,37
-0,5+0,315	2,33	42,37	6,91	3,80	13,55	2,40	5,19	2,10	1,71
-0,315+0,16	2,98	45,05	6,63	3,80	13,93	3,26	6,37	2,69	2,25
-0,16+0,0	8,99	45,32	3,04	5,48	30,48	9,91	8,82	11,70	14,82
<b>Итого</b>	<b>100,0</b>	<b>41,13</b>	<b>3,10</b>	<b>4,21</b>	<b>18,49</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>

По данным таблицы 1 установлено, что наибольшие выходы – 48,05% и 18,39% – соответствуют классам крупности  $-10,0+5,0$  мм и  $-5,0+3,0$  мм с содержанием железа 39,43% и 42,37% и извлечением железа 46,06% и 18,94% соответственно. Содержание серы в указанных классах составляет 2,48% и 2,70% при извлечении 38,44% и 16,02%. В более мелких классах ( $-3,0+0,0$  мм) содержание железа изменяется в пределах 41,03–45,32%, а содержание серы – от 2,81% до 6,91%. В классах  $-0,5+0,16$  мм содержание серы является повышенным (6,63–6,91%), однако суммарное извлечение серы в данных классах составляет 11,56%.

Проведена сухая магнитная сепарация проб исследуемого техногенного сырья классов крупности  $-10,0+0,0$  мм,  $+5,0+0,0$  мм и  $-3,0+0,0$  мм на сепараторе 120Т при интенсивности магнитного поля 0,2 Тл; полученные результаты представлены в таблице 2.

**Таблица 2 – Результаты сухой магнитной сепарации исследуемого техногенного сырья по классам крупности**

Продукты	$\gamma$ , %	Содержание, %				Извлечение, %			
		Fe	S	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Fe	S	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>
Кл. кр. $-10,0+0,0$ мм									
Исходный	100,0	41,13	3,10	4,21	18,49	100,0	100,0	100,0	100,0
МФ	69,40	53,49	2,42	2,61	11,36	90,26	54,00	43,02	42,64
НМФ	30,60	13,09	4,65	7,84	34,66	9,74	46,00	56,98	57,36
<b>Итого</b>	<b>100,0</b>	<b>41,13</b>	<b>3,10</b>	<b>4,21</b>	<b>18,49</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>
Кл. кр. $-5,0+0,0$ мм									
Исходный	100,0	41,13	3,10	4,21	18,49	100,0	100,0	100,0	100,0
МФ	69,10	53,60	1,97	2,62	11,10	90,05	43,90	43,00	41,48
НМФ	30,90	13,25	5,63	7,78	35,02	9,95	56,10	57,00	58,52
<b>Итого</b>	<b>100,0</b>	<b>41,13</b>	<b>3,10</b>	<b>4,21</b>	<b>18,49</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>
Кл. кр. $-3,0+0,0$ мм									
Исходный	100,0	41,13	3,10	4,21	18,49	100,0	100,0	100,0	100,0
МФ	68,70	53,75	1,76	2,62	10,81	89,78	39,00	42,75	40,16
НМФ	31,30	13,43	6,04	7,70	35,35	10,22	61,00	57,25	59,84
<b>Итого</b>	<b>100,0</b>	<b>41,13</b>	<b>3,10</b>	<b>4,21</b>	<b>18,49</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>

Сухое магнитное обогащение (СМС) исследуемого техногенного сырья по классам крупности  $-10,0+0,0$  мм,  $+5,0+0,0$  мм и  $-3,0+0,0$  мм показало следующие результаты. Как видно из данных таблиц 2, выход магнитной фракции варьируется в пределах 68,70–69,40%, при содержании железа 53,49–53,75% и извлечении Fe в магнитный продукт 89,78–90,26%. Содержание серы в магнитных продуктах составляет 1,76–2,42% при извлечении 39,00–54,00%. Установлено, что класс крупности не оказывает существенного влияния на качество получаемого продукта по содержанию железа и извлечению его в магнитную фракцию.

Таким образом, сухая магнитная сепарация не обеспечила целевые показатели обогащения (содержание Fe с одновременным уменьшением S в магнитном продукте). С целью дальнейшей оптимизации процесса обогащения техногенного сырья, по схеме дробление → СМС → измельчение → ММС, проведены следующие исследования.

Полученный промпродукт методом сухой магнитной сепарации кл.кр.  $-10,0+0,0$  мм при 0,2 Тл, подвергали измельчению до класса крупности  $-0,071+0,0$  мм (не менее 80%), полученный измельченный материал направили на мокрую магнитную сепарацию при напряженности магнитного поля 0,24 Тл (таблица 3).

Таблица 3 – Результаты 2-х стадийной магнитной сепарации

Основная – СМС Н=0,2 Тл (-10,0+0,0мм)									
Продукты	γ, %	Содержание, %				Извлечение, %			
		Fe	S	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Fe	S	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>
Исходный	100,0	41,13	3,10	4,21	18,49	100,0	100,0	100,0	100,0
МФ	69,40	53,49	2,42	2,61	11,36	90,26	54,00	43,02	42,64
НМФ	30,60	13,09	4,65	7,84	34,66	9,74	46,00	56,98	57,36
<b>Итого</b>	<b>100,0</b>	<b>41,13</b>	<b>3,10</b>	<b>4,21</b>	<b>18,49</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>
Перечистка – ММС Н=0,24 Тл (-0,071+0,0мм)									
Исходный	100,0	53,49	2,42	2,61	11,36	100,0	100,0	100,0	100,0
МФ	68,90	67,48	0,16	0,66	1,98	86,92	4,60	17,42	12,01
НМФ	31,10	22,50	7,42	6,93	32,14	13,08	95,40	82,58	87,99
<b>Итого</b>	<b>100,0</b>	<b>53,49</b>	<b>2,42</b>	<b>2,61</b>	<b>11,36</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>

Из данных таблицы 3 видно, что при мокром магнитном обогащении промпродукта железо поднимается с 53,49% до 67,48% извлечение Fe в магнитный концентрат составляет 86,92%, содержание серы снижается с 2,42% до 0,16%, извлечение S в железный концентрат составляет 4,60%. Таким образом схема дробление → СМС → измельчение → ММС, позволило получить железорудный продукт что соответствует требованиям по качеству Fe и S, предъявляемым к железорудным концентратам. Сквозное извлечение железа от техногенного сырья составила 78,42%, серы 2,50%.

### Выводы

1. Исследуемое техногенное сырьё характеризуется содержанием железа 41,13% и повышенным содержанием серы (3,10%), что обуславливает необходимость применения эффективных методов обогащения, направленных на одновременное повышение содержания Fe и снижение содержания S.

2. Анализ гранулометрического состава показал, что основная масса материала сосредоточена в классах крупности -10,0+5,0 мм и -5,0+3,0 мм, при этом распределение железа по классам является относительно равномерным. В мелких классах отмечается повышение содержания серы, что свидетельствует о недостаточном раскрытии сростков минералов при крупном дроблении.

3. Сухая магнитная сепарация по классам крупности -10,0+0,0 мм, -5,0+0,0 мм и -3,0+0,0 мм обеспечивает получение магнитного продукта с содержанием железа 53,49-53,75% при извлечении Fe 89,78-90,26%. При этом установлено, что класс крупности не оказывает существенного влияния на качество магнитного продукта.

4. Применение двухстадийной схемы обогащения (дробление → СМС → измельчение до класса -0,071+0,0 мм (не менее 80%) → ММС) позволило повысить содержание железа в концентрате до 67,48% и снизить содержание серы до 0,16% при извлечении Fe 86,92%.

6. Сквозное извлечение железа от исходного техногенного сырья при реализации двухстадийной схемы составило 78,42%, серы – 2,50%, что подтверждает эффективность предложенной технологии и перспективность вовлечения техногенных образований в переработку с получением кондиционного железорудного концентрата.

**Источники**

- 1 Информационный обзор по результатам ведения Государственного кадастра отходов за 2021 год (ecogofond.kz). [https://doi.org/ecogofond.kz/wp-content/uploads/2022/12/Informacionnyj-obzor\\_2021.pdf](https://doi.org/ecogofond.kz/wp-content/uploads/2022/12/Informacionnyj-obzor_2021.pdf)
- 2 Луговская И.Г., Якушина О.И., Печенкин И.Г. «Управление переработкой минерального сырья по комплексному принципу – основа безотходного производства» // ГИАБ. – 2025. – № 1. – С. 154–167. <https://doi.org/10.25018/0236-1493-2025-1-0-154>. giab-online.ru
- 3 Мухтар А.А., Макашев А.С., Касымова Б.К., Кочегина Е.В., Атахан М.М. Техногендік марганец қалдықтарын магниттік байыту мүмкіндігін зерттеу // Наука и техника Казахстана. – 2025- №4. – С.330-340. <https://doi.org/10.48081/GDOV2218>

УДК 519.87:621.926

## АДАПТАЦИЯ ВЕРОЯТНОСТНОЙ МОДЕЛИ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ К ЛАБОРАТОРНЫМ УСЛОВИЯМ НА ПРИМЕРЕ РЕЧНОГО ПЕСКА

Мальшев В.П.<sup>1</sup>, Макашева А.М.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Филиал РГП «НЦ КИМС РК» «ХМИ им. Ж. Абишева», г. Караганда, Казахстан

<sup>2</sup>НАО «Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова»,  
г. Караганда, Казахстан

Измельчение материалов традиционно относится к наиболее энерго- и ресурсоёмким этапам металлургического производства [1, 2]. В этой связи разработка математического аппарата, обеспечивающего обоснованное и эффективное управление технологиями измельчения различных материалов при одновременном снижении себестоимости процесса, представляет собой актуальную научно-практическую задачу [3].

Авторами была разработана вероятностная модель измельчения [4], показывающей воздействие концентрационного ( $P_{\text{конц}}$ ), стерического ( $P_{\text{ст}}$ ), активационного ( $P_a$ ) и частотного ( $Z$ ) факторов на скорость измельчения фракций рудных зерен со средним диаметром  $d_j$ :

$$-\frac{dP_j}{d\tau} = Z P_{\text{ст}} P_a P_{\text{ш}} P_z P_j, \text{ с}^{-1}, \quad (1)$$

или в развернутом виде:

$$-\frac{dP_j}{d\tau} = \frac{8d_j(d_{\text{ш}}-d_j)\omega G_{\text{ш}}G_z P_j}{d_{\text{ш}}^2(1+2\omega\sqrt{2D/g})(G_{\text{ш}}/\gamma_{\text{ш}}+G_z/\gamma_z)^2\gamma_{\text{ш}}\gamma_z} \exp\left(-\frac{E_6}{RT+\frac{3MmgD}{\pi d_j^2\gamma_z}}\right). \quad (2)$$

Данное уравнение путем математических преобразований позволило получить прямую зависимость содержания (выхода) любой фракции  $P_n$  в любой момент времени измельчения  $\tau$  не только разрушения, но и накопления каждой фракции:

$$P_n = P_{0n} e^{-k_n\tau} + \sum_{j=1}^{n-1} P_{0j} \left(\prod_{i=j}^{n-1} k_i\right) \sum_{m=j}^n \frac{e^{-k_m\tau}}{\prod_{i=1}^n (k_i - k_m)}, \quad (3)$$

где  $P_n$  – выход рассчитываемой  $n$ -й фракции, доли ед. (номер стадии разрушения);  $j$  – номер предыдущих (более крупных) фракций;  $P_{0j}$  – исходное содержание фракции, доли ед.;  $d_j$  – средний размер зерен  $j$ -й фракции, м;  $d_{\text{ш}}$  – диаметр мелющего шара, м;  $\gamma_{\text{ш}}$  – плотность шара, кг/м<sup>3</sup>;  $G_{\text{ш}}$  – масса воды в мельнице, кг;  $\gamma_{\text{в}}$  – плотность воды, кг/м<sup>3</sup>;  $G_{\text{ш}}$  – масса шаровой нагрузки мельницы, кг;  $\gamma_z$  – плотность рудных зерен, кг/м<sup>3</sup>;  $G_z$  – масса руды в мельнице, кг;  $\omega$  – угловая скорость вращения мельницы, с<sup>-1</sup>;  $D$  – внутренний диаметр мельницы, м;  $g$  – ускорение силы тяжести, м/с<sup>2</sup>;  $E_6$  – энергетический барьер разрушения зерна, Дж/моль;  $M$  – молекулярная масса измельчаемого материала, кг/моль;  $R$  – газовая постоянная, Дж/(моль·К);  $T$  – абсолютная температура, К.

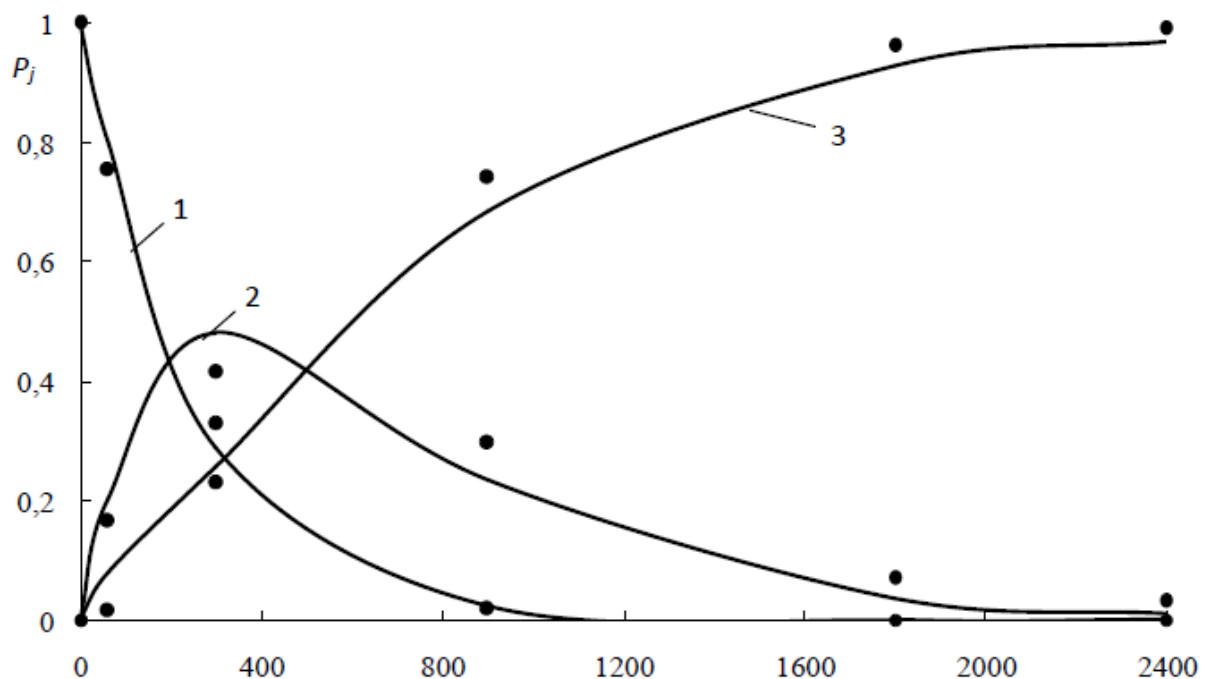
Целью данной работы является проверка вероятностной модели измельчения в лабораторном масштабе с использованием речного песка.

Опыты проводили в лабораторной шаровой мельнице 62 МЛ на речном песке (Карагандинской области), содержащем 64,5 % SiO<sub>2</sub>. Использовали монофракцию –

0,5+0,2 мм плотностью  $\gamma_3 = 2650 \text{ кг/м}^3$ , а при фракционном анализе продуктов измельчения – набор сит, начиная с первой фракции -0,5+0,2 мм ( $d_1 = 3,5 \cdot 10^{-4}$  м), далее для второй фракции -0,2+0,1 мм ( $d_2 = 1,5 \cdot 10^{-4}$  м), для третьей – -0,1 мм. Для сопоставления с результатами расчета по вероятностной модели выход тонких классов учитывали в эксперименте суммарно, а по расчетной модели – более детально в полном соответствии с действительным фракционным составом нижнего класса, измельчение которого починено общим закономерностям последовательного разрушения зерен примерно на 8 соколков, т.е. с уменьшением размера в два раза, вплоть до сколь угодно малого размера.

Поэтому для сопоставления с экспериментальной величиной выхода самой нижней фракции следует просуммировать расчетные значения всех тонких классов, начиная с  $P_j$ , где в данном случае  $j = 3$  (третий класс), а всю нижнюю фракцию относить к классу -0,1 мм.

Результаты расчета представлены на рисунке.



**Рисунок 1 – Зависимость выхода фракций речного песка от продолжительности измельчения монофракции -0,5+0,2 мм. Точки – экспериментальные данные, линии – по (1) для фракций -0,5+0,2 мм (1); -0,2+0,1 мм (2); -0,1 мм (3)**

В целом сравниваемые массивы экспериментальных и расчетных данных без какого-либо систематического завышения или занижения достаточно адекватно отображают друг друга, о чем свидетельствует высокий коэффициент нелинейной множественной корреляции  $R = 0,9995$  с его значимостью  $t_R = 369 \gg 2$ . При этом высокая степень детерминации  $D = R^2 = 0,989$  подтверждают функциональный характер вероятностной модели измельчения.

### Источники

- 1 Nava J.V., Coello-Velazquez A.L., Menendez-Aguado J.M., Grinding Kinetics Study of Tungsten Ore // Metals, 2021. Vol.11, Iss. 1. P. 71. DOI:10.3390/met11010071
- 2 Krauze O., Buchczik D., Budzan S. Measurement-Based Modelling of Material Moisture and Particle Classification for Control of Copper Ore Dry Grinding Process // Sensors, 2021. Vol. 21, Iss. 2. P. 667. DOI: 10.3390/s21020667
- 3 de Jong, Tako P. R. A prediction of blend grinding result based on individual ore size

- measurements and grinding tests // Minerals Engineering, 2023. Vol. 191. DOI: 10.1016/j.mineng.2022.107950
- 4 Макашева А.М., Малышев В.П., Бекбаева Л.А. Модификация вероятностной модели измельчения с использованием изоморфизма // Наука и техника Казахстана, 2025. – № 2. – С. 312-328. <https://doi.org/10.48081/RPJJ5492>

УДК 661.882^022-14

## СОВРЕМЕННЫЕ СПОСОБЫ ПОЛУЧЕНИЯ ДИОКСИДА ТИТАНА

Найманбаев М.А., Малдыбаев Г.К.

*РГП «НЦ КПМС РК», г. Алматы, Казахстан*

**Введение.** Самым востребованным соединением титана является его диоксид. Он начал выпускаться в начале XX века и широко используется в красках, как наполнитель для бумаги и пластика, в солнечных батареях [1], в косметике и как добавка к пище [2], в производстве нетоксичных дубящих материалов [3], в качестве ингредиента в рецептурах покрытий, клеев и герметиков [4].

Чистый диоксид титана – бесцветные кристаллы, которые желтеют при нагревании и обесцвечиваются после охлаждения. Показатель преломления у анатаза 2,55, а у рутила – 2,7, что говорит о высокой светонепроницаемости и, следовательно, белизне. Рутил примерно на 30% лучше рассеивает свет (укрывитость), чем анатаз. Кроме того, анатаз менее атмосферостоек, чем рутил, хуже работает в защите полимера (акрилаты, пластмассы) от УФ-лучей, что приводит к фотокатализу и потере свойств полимера – происходит деструкция, выцветание и т.д. [5].

В настоящее время диоксид титана производится на 53 заводах в 26 странах мира. Загрузка мощностей на предприятиях-производителях в среднем составляет 92%, в т.ч. в США и Европе – 96%, в странах Азиатско-Тихоокеанского региона – 85-91% [6].

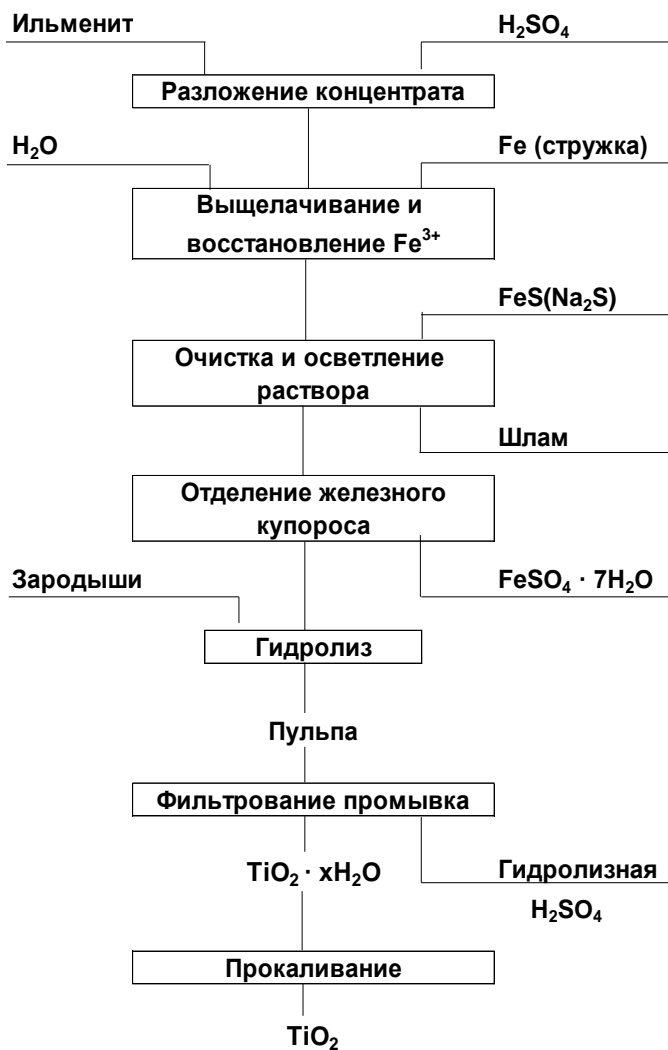
**Существующие технологии.** Есть две основные промышленные технологии получения пигментного диоксида титана – сульфатная и хлорная [7]. Основное сырье для них – титановый шлак и/или рутил, получаемый из ильменитового концентрата.

Самый распространенный метод получения титанового шлака – восстановительная плавка в электропечах, во время которой оксиды железа восстанавливаются до металла. Основной продукт плавки титановый шлак содержит 75-85%  $TiO_2$ . Второй продукт – чугун, который используют в качестве сырья в производстве стали.

Титановый шлак может быть использован для получения рутила с содержанием диоксида титана 92-96%. Промышленное производство синтетического рутила состоит из двух стадий: восстановительной плавки и кислотного выщелачивания, при этом образуется огромное количество жидких отходов – 2 т/т  $TiO_2$  [8, 9].

Титановый шлак или ильменитовый концентрат служат сырьем в сульфатной технологии получения диоксида титана, которая была внедрена в промышленность в 1931 г для получения анатаза, а в 1941 г – рутила [10]. Сырье обрабатывается концентрированной 80-95% серной кислотой для получения сульфата титана, в дальнейшем основная масса железа отделяется последующими этапами кристаллизации и фильтрации. Сульфат титана гидролизует при температуре кипения, образуется гидроксид титана (IV), осаждается и отделяется от раствора. Полученный продукт прокаливается при 650-1000°C до формы диоксида титана – анатаза или рутила (рисунок 1).

Основные преимущества данной технологии заключаются в низких капиталозатратах и гибкости в сырьевом материале. А недостатками являются большие энергозатраты, различное качество получаемого пигмента, большое количество труднореализуемых отходов, так, при переработке ильменита по сульфатной схеме на тонну диоксида титана образуется около 2 т гидролизной 20-22% серной кислоты и 2-3 т сульфата железа. Несмотря на недостатки по сульфатной технологии получают около 40% всего пигмента в мире.



**Рисунок 1 – Схема переработки титановых концентратов сульфатным методом**

Хлорный способ получения диоксида титана разработана фирмой DuPont; опытная установка была внедрена в действие в 1948 г, а в 1958 г хлорная технология была внедрена в производство. Технология заключается в том, что природный или синтетический рутил, вступая в реакцию с углеродом (кокс, нефтяной кокс и т.п.) и хлор-газом при высокой температуре, образует пары тетрахлорида титана, который после очистки окисляется кислородом при 1300-1800°C до диоксида титана [11].

Поскольку тетрахлорид титана служит промежуточным продуктом и при получении металлического титана, производство диоксида титана хлорным способом примыкает к металлургии титана (рисунок 2). Преимущества хлорного способа производства пигмента перед сульфатным заключается в значительно меньшем количестве отходов, подлежащих обезвреживанию, несколько более высоком качестве продукта, а также меньших удельных капиталовложениях, составляющих 60-75% от вложений в сернокислотный способ. Стоимость 1 кг пигментного диоксида титана, полученного хлорным способом, меньше, чем по сульфатной технологии.

**Разрабатываемые технологии.** В последние годы создаются новые гидрометаллургические способы получения пигментного диоксида титана, многие из которых заключаются в выщелачивании обогащенного по титану сырья.

Предложен способ [12, 13] обогащения титанового шлама, полученного после электроплавки при 1500-1600°C или восстановительного обжига при 900-1000°C с последующим отделением железа, с составом, масс. %:  $\text{TiO}_2$  35-40;  $\text{Fe}_{\text{общ}}$  5-15;  $\text{SiO}_2$  5-15;

MgO 2-12; MnO 1-5; CaO 2-10; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 5-15; Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 0,5-5, заключающийся в том, что шлак подвергают обработке соляной кислотой с концентрацией 12-18% при Т:Ж=1:8÷10 (при общем двухкратном избытке по стехиометрии) с последующей обработкой твердого продукта после промывки 3-5% раствором гидроксида натрия при Т:Ж=1:4÷6. Условия выщелачивания по времени 2 ч и температуре 106-110°C.

По [14] шлак измельчали до размера частиц менее 50 мкм, подвергали магнитной сепарации для удаления металлических включений и обрабатывали 30%-ным раствором азотной кислоты при температуре 95°C, Т:Ж=5,5 в течение 1 часа. Полученный после выщелачивания кек на основе диоксида титана и кремния обрабатывали в 5 % растворе NaOH при температуре 95°C, Т:Ж=1 в течение 1 часа.

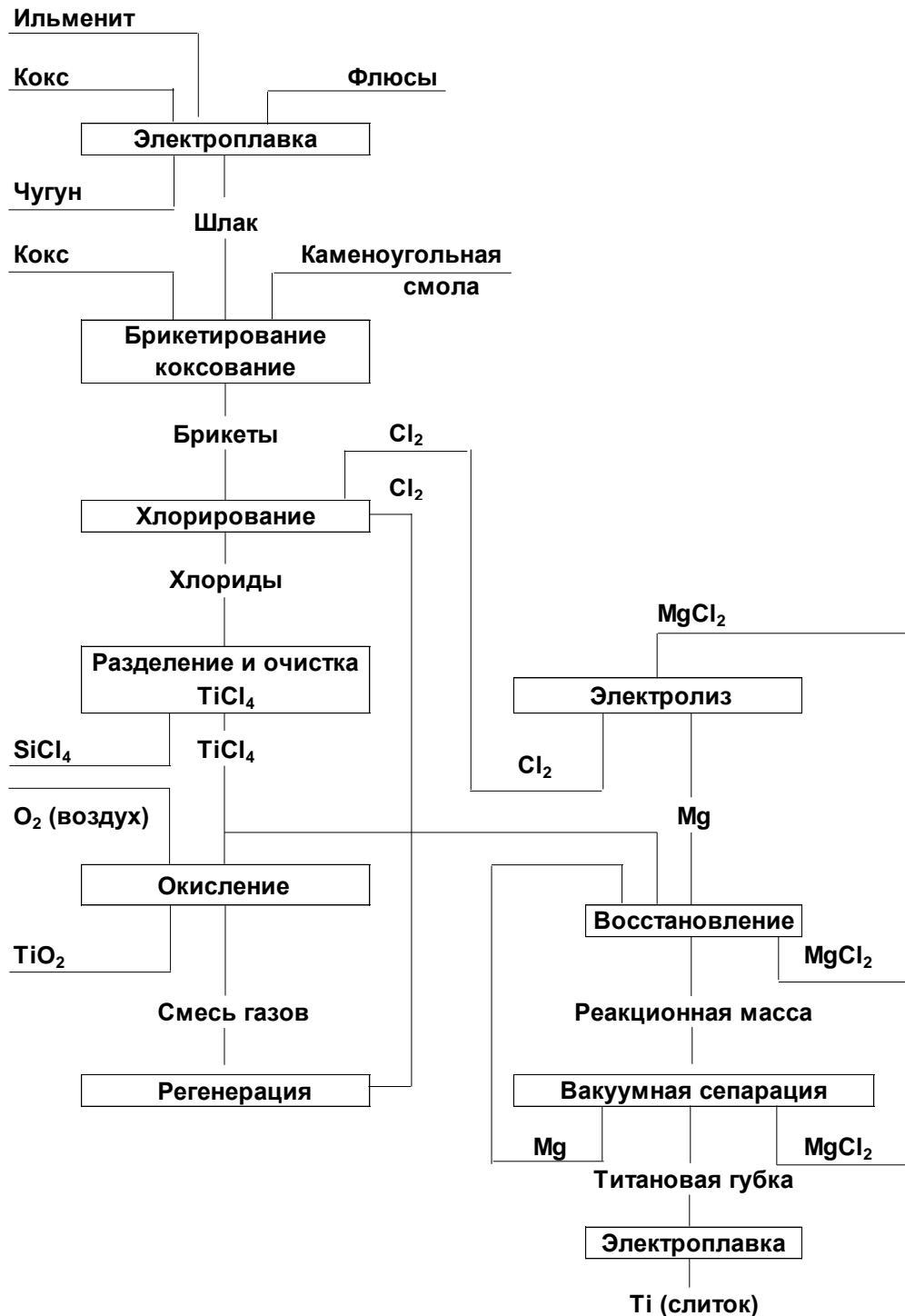


Рисунок 2 – Схема переработки титановых концентратов хлорным методом

В работе [15] титановый шлак состава, масс. %:  $\text{TiO}_2$  92,5;  $\text{Fe}_{\text{общ}}$  0,90;  $\text{MnO}$  2,82;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  2,17;  $\text{CaO}$  0,84;  $\text{SiO}_2$  0,64;  $\text{MgO}$  0,41 обрабатывали в автоклаве раствором гидроксида натрия концентрацией  $10 \text{ моль} \cdot \text{кг}^{-1} \text{ H}_2\text{O}$  при массовом соотношении Т:Ж=1:4 и температуре  $220^\circ\text{C}$  в течение 4 ч. Пульпу охлаждали, фильтровали, промывали и сушили при температуре  $80^\circ\text{C}$ . Полученный полупродукт на основе  $\text{Na}_4\text{Ti}_3\text{O}_8$  выщелачивали в растворе соляной кислоты при pH 0,2 и Т:Ж=1:150, отстаивали в течение 5 ч и отделяли от кислого раствора. В результате получили диоксид титана с содержанием 98,4-99,4 %  $\text{TiO}_2$ .

Предложена технология переработки шлаков, содержащих 8-17%  $\text{TiO}_2$  [16], с получением продуктов, удовлетворяющих по содержанию титана требованиям для получения пигментного диоксида титана и металлического титана. Она включает в себя два направления. Для получения аносовитового концентрата, используемого при производстве пигмента сернокислотным способом, титановый шлак при охлаждении в течение четырех часов выдерживается при температуре  $1300^\circ\text{C}$  с добавкой модификатора. После дробления и измельчения обогащается гравитацией или флотацией аносовита, шламы выщелачиваются серной кислотой и щелочью.

Другие исследования основаны на обжиге низкотитанового шлака с различными щелочными реагентами. Роль щелочного обжига двойная: во-первых, химически отделить диоксид титана от соединений кремния и других примесей; во-вторых, во время щелочного обжига образуются растворимые натриевые соли металлов, которые можно удалить в последующих этапах водного выщелачивания. При спекании титанового шлака с гидроксидом натрия титан, кремний, ванадий и алюминий образуют титанаты, ванадаты, силикаты, алюминаты, которые растворяются в воде, а титан остается в осадке, который растворяется в серной или соляной кислоте с дальнейшим выделением титановой кислоты. [17,18].

Разработана новая технология промышленного получения высококачественного пигментного диоксида титана [19], состава, масс. %:  $\text{TiO}_2$  78,5;  $\text{Fe}_{\text{общ}}$  7,73;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  2,36;  $\text{CaO}$  0,66;  $\text{MgO}$  5,57;  $\text{MnO}$  0,30;  $\text{SiO}_2$  2,75;  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  0,21, включающая щелочной обжиг, выщелачивание раствором соляной кислоты с концентрацией  $2 \text{ моль/дм}^3$  при соотношении Т:Ж=1:10 и температуре  $50^\circ\text{C}$  в течение 1 ч, с последующей экстракцией аминными экстрагентами, для очистки раствора от примесей железа, гидролиз и прокалку титановой кислоты с получением пигментного диоксида титана.

Интересным представляется технология получения пигментного диоксида титана из шлаков от переработки титаномагнетитового концентрата [20]. При этом титановый шлак разлагается в щелочном плаве гидроксида натрия с образованием титаната, силиката и алюмината натрия при температуре  $500^\circ\text{C}$ , продолжительности 60 мин, соотношении щелочь:шлак = 1:1. Полученный спек выщелачивают водой при температуре  $50^\circ\text{C}$ , соотношения Т:Ж=1:5, в течение 20 мин. Промытый титансодержащий осадок растворяют в 20% растворе серной кислоты для получения раствора оксосульфата титана. После очистки сульфатный раствор термически гидролизуют и осаждают титановую кислоту  $\text{H}_2\text{TiO}_3$ . Далее следует прокалка при  $800^\circ\text{C}$  с получением пигментного диоксида титана [21].

Предложен способ, основанный на трехстадийной гидрометаллургической переработке продуктов спекания титанового шлака с кальцинированной содой [22]. Шлак, содержащий (%):  $\text{TiO}_2$  72,0;  $\text{Fe}_{\text{общ}}$  12,65;  $\text{SiO}_2$  0,9;  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  0,32;  $\text{V}_2\text{O}_5$  0,55 – спекали с содой в массовом соотношении  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ :шлак = 0,55:1 при температуре  $850^\circ\text{C}$  в течение 1 ч, затем выщелачивали в воде для удаления солей хрома и ванадия. Полученный кек на основе соединений  $\text{NaFeTiO}_4$ ,  $\text{Na}_2\text{TiSiO}_5$  и  $\text{Na}_2\text{TiO}_3$  обрабатывали на второй стадии кипения в течение 0,5 ч. в результате получили полупродукт, содержащий (%):  $\text{TiO}_2$  87,5,  $\text{Fe}_{\text{общ}}$  0,05 и  $\text{SiO}_2$  9,25, из которого на третьей стадии выщелачивали диоксид кремния в 2 М растворе  $\text{NaOH}$  при температуре  $60-70^\circ\text{C}$  в течение 1 ч. Полученный продукт имел состав (%):  $\text{TiO}_2$  97,0,  $\text{Fe}_{\text{общ}}$  0,055 и  $\text{SiO}_2$  1,9.

Предпринята попытка упрощения вышеизложенного способа, заключающаяся в том, что титановый шлак, содержащий (%):  $\text{TiO}_2$  – 82,3;  $\text{Fe}_{\text{общ}}$  – 4,97;  $\text{SiO}_2$  – 2,62;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 5,89;  $\text{Mn}_{\text{общ}}$  – 0,87;  $\text{CaO}$  – 0,35;  $\text{MgO}$  – 0,30;  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  – 0,62, измельчали до размера частиц менее 50 мкм, смешивали с кальцинированной содой, взятой в отношении  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ :шлак, равном (0,98-1,15):1, и спекали при температуре 900°C в течение 1 часа. Полученный спек измельчали и выщелачивали в воде при температуре 80°C в течение 1 часа с получением железо-титансодержащего осадка и раствора, содержащего силикат и хромат натрия. Пульпу фильтровали под вакуумом через воронку Бюхнера. Осадок, содержащий титанат натрия, гидроксид железа и частично гидроксид кремния, обрабатывали солянокислым раствором (20%  $\text{HCl}$ ) при Ж:Т=3:1 в течение 0,5 часа при температуре кипения. Раствор, содержащий хлорид железа, отделяли от осадка, содержащего ортотитановую кислоту ( $\text{H}_4\text{TiO}_4$ ) и остаток диоксида кремния. Осадок сушили и прокаливали при температуре 900°C в течение 1 часа с получением концентрата диоксида титана, содержащего (%):  $\text{TiO}_2$  – 97,15-97,25;  $\text{Fe}_{\text{общ}}$  – 0,70-0,98;  $\text{SiO}_2$  – 1,00-1,31;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 0,06;  $\text{Mn}_{\text{общ}}$  – 0,03;  $\text{CaO}$  – 0,07-0,10;  $\text{MgO}$  – 0,07;  $\text{Na}_2\text{O}$  – 0,1-0,28.

### Выводы

Проведенный анализ научно-технической и патентной литературы показал, что из-за существенного различия химического состава ильменитовых и титаномагнетитовых концентратов различных месторождений содержание примесных компонентов в них колеблется в широких пределах. Для разработки способа получения диоксида титана это обстоятельство обуславливает необходимость индивидуального подхода для каждого конкретного вида сырья.

### Источники

- 1 Zhang W, Zhu Z, Xheng C.V. A literature review of titanium metallurgical processes // Hydrometallurgy. 2011. 108. – P. 177-188.
- 2 Kuznesof P.M. Titanium Dioxide // Chemical and Technical assessment. 2006. JECFA. Rome. Staly. – P. 1-8.
- 3 Герасимова Л.Г., Маслова М.В., Щукина Е.С. Получение титанового дубителя из гидроксида титана (IV) // Химическая технология. – 2014. - Т. 15, №4. – С. 206-210.
- 4 Герасимова Л.Г., Чуппилина С.В., Маслова М.В., Щукина Е.С., Киселев Ю.Г. Оксид титана, модифицированный оксидом алюминия, защитных и изоляционных материалов // Химическая технология. – 2014. Т. 15, №5. – С. 257-262.
- 5 Физико-химические свойства окислов. Справочник под редакцией Самсонова Г.В. – М.: Металлургия, 1978. – 472 с.
- 6 <http://itkor.ru>
- 7 <http://www.titanium-chemical.com>, [www.titanmet.ru](http://www.titanmet.ru)
- 8 Pat. 5885324 US. Method for the production of synthetic rutile. Balderson G.F., MacDonald C.A. 1999/
- 9 Комаров О.К., Доронин Н.А., Чистов Л.Б. Получение искусственног рутила из ильменитовых концентратов // Цветные металлы. – 1973. №1. – С. 45-52.
- 10 Шека И.А. Техническая двуокись титана и ее получение из измененного ильменита серноокислотным методом. – Киев: Наукова Думка. 1968. – 292 с.
- 11 Barksdale J. Titanium, its Occurrence, Chemistry and Technology. Ronald Press. Co. N.I. 1966, цитируется по Гуляницкий Б.С., Ольхов Ю.Н. Перспективы развития титановой промышленности США и других капиталистических стран // Цветные металлы. – 1969. №2. – С. 92-95.
- 12 Садыхов Г.Б. Разработка научных основ и технологии комплексного использования титаномагнетитов с высоким содержанием диоксида титана: автореф. ... д. т. н.: 05.16.02. – М., 2001. – 30 с.

- 13 Пат. 1414782 RU. Способ получения искусственного рутила из обогащенных титансодержащих продуктов переработки титаномагнетитов. / З.И. Ализаде, Г.Б. Садыхов, А.М. Гусейн-заде; опубл. 07.08.1988, Бюл. №29. – 5 с.
- 14 Водопьянов А.Г., Кожевников Г.Н. Разработка процессов извлечения диоксида титана из шлаков и лейкоксенового сырья. // Труды Международного конгресса «Фундаментальные основы технологий переработки и утилизации техногенных отходов». – Екатеринбург, 2012. – С. 338-340.
- 15 Tianyan Xue, Lina Wang, Tao Qi, Jinglong Chu, Jingkui Qu, Changhou Liu. Decomposition kinetics of titanium slag in sodium hydroxide system // Hydrometallurgy (95). - 2009. – P. 22-27.
- 16 Зеленова И.М., Резниченко В.А. Обогащение титановых шлаков с целью получения сырья для производства металлического титана и его пигментного диоксида // Матер. III конгресса обогатителей стран СНГ. – М.: Альтекс, 2001. – С. 121-122.
- 17 Arao J. Manhigue, Walter W. Focke, Carvalho Madivate. Titania recovery from low-grade titaniferrous minerals // Hydrometallurgy (109.) - 2011. – P. 230-236.
- 18 WangDong, ChuJinglong, Lijie, QiTao, WangWeijing Anti-caking in the production of titanium dioxide using low-grade titanium slag via the NaOH molten salt method // Powder technology (232). - 2012. – P. 99-105.
- 19 Scott Middlemas, Z. Zak Fang, Peng Fan. A new method for production of titanium dioxide pigment // Hydrometallurgy. - 2013 (131-132). – P. 107-113.
- 20 Desheng Chen, Longsheng Zhao, Yahui Liu, Tao Qi, Jianchong Wang, Lina Wang. A novel process for recovery of iron, titanium, and vanadium from titanomagnetite concentrates: NaOH molten salt roasting and water leaching processes // Journal of Hazardous Materials. – 2013 (244– 245). – P. 588– 595.
- 21 Yongjie Zhang, Tao Qi, Yi Zhang. A novel preparation of titanium dioxide from titanium slag // Hydrometallurgy. – 2009 (96). – P. 52-56.
- 22 Lasheen T.A. Soda ash roasting of titan a slag product from Rosetta ilmenite // Hydrometallurgy. – 2008 (93). – P. 124-128.

УДК 533.411.622.7.

## АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ ПРОЦЕССА КУЧНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ ЗОЛОТА ИЗ ОКИСЛЕННЫХ РУД МЕСТОРОЖДЕНИЯ «ВАСИЛЬЕВСКОЕ» В УСЛОВИЯХ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР

Ниязов А.А.<sup>1</sup>, Бейсембаев Э.Б.<sup>1</sup>, Тлеулинов Б.А.<sup>2</sup>, Асылбеков А.Н.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Филиал РГП «НЦ КТМС РК» ГНПОПЭ «Казмеханобр», г. Алматы, Казахстан,

<sup>2</sup>ТОО «ГМК «Васильевское», Казахстан

В статье представлен комплексный технологический анализ процесса кучного выщелачивания золотосодержащих руд месторождения «Васильевское» (Республика Казахстан) в условиях экстремально низких температур.

В ходе исследования выявлена критическая зависимость степени извлечения золота от температурного градиента внутри рудного штабеля. Доказана эффективность применения систем принудительного подогрева технологических растворов до 18 градусов Цельсия в сочетании с использованием подповерхностного капиллярного орошения, заглубленного в кровлю штабеля на глубину не менее 0,5 м. Особое внимание уделено методу формирования контролируемого ледяного покрова, выполняющего функцию теплофизической защиты массива от вымораживания.

Результаты опытно-промышленной эксплуатации подтверждают достижение проектного уровня извлечения (62,66 %) при строгом соблюдении норм экологической безопасности и отсутствии негативного воздействия на водные ресурсы региона. Сформулированные рекомендации позволяют минимизировать риски промерзания рудной массы, обеспечивая стабильность и непрерывность производственного цикла в регионах с резко континентальным климатом. Предложенные технологические решения имеют высокую практическую значимость для золотодобывающих предприятий, осуществляющих деятельность в сложных криогенных условиях.

**Ключевые слова:** золотосодержащая руда, дробление, грохочение, гидроизоляция, кучное выщелачивание, цианид, щелочь, сорбция, смола, продуктивный раствор, орошение, обеззолоченный раствор.

**Цель работы** – на основе исследований, выполненного в рамках технологического мониторинга процесса кучного выщелачивания золота определить особенности протекания процесса КВ и дать соответствующие рекомендации, обеспечивающие стабильную и безаварийную эксплуатацию кучи в условиях низких температур [1].

Современная парадигма развития золотодобывающей отрасли характеризуется неуклонным снижением средних содержаний полезного компонента в обрабатываемых месторождениях, что диктует необходимость внедрения высокоэффективных и малозатратных технологий переработки минерального сырья. В данном контексте метод кучного выщелачивания (КВ) утвердился в качестве доминирующего технологического решения для вовлечения в промышленную эксплуатацию бедных, забалансовых и техногенных золотосодержащих руд. Экономическая привлекательность метода обусловлена возможностью переработки значительных объемов горной массы при относительно низких удельных капитальных вложениях и эксплуатационных затратах. Однако реализация технологического потенциала КВ в регионах с резко континентальным климатом, к которым относится территория Республики Казахстан, сопряжена с комплексом научно-технических проблем, обусловленных воздействием отрицательных температур на физико-химические и гидродинамические параметры процесса.

Месторождение «Васильевское», территориально расположенное в Жарминском районе Абайской области, представляет собой сложный геологический объект,

генетически связанный с процессами формирования золото-пирит-арсенопиритовой минерализации жильно-ячеистого типа. Особенности геологического строения участка определяются наличием лентовидных рудных тел северо-западного простирания, протяженность которых варьируется в диапазоне от 30 до 100 метров при значительной глубине распространения, превышающей 700 метров. Минеральный комплекс представлен сочетанием рудных минералов, таких как пирит, арсенопирит, сфалерит, галенит и халькопирит, локализованных в кварц-карбонатной матрице с примесью графита.

Для технологии кучного выщелачивания определяющим фактором является вещественный состав и морфология нахождения золота в окисленных рудах. Согласно данным минералогического анализа, благородный металл в окисленной зоне Васильевского месторождения находится преимущественно в свободном состоянии либо в составе сростков, что обеспечивает высокую степень его доступности для воздействия цианистых растворов. В отличие от первичных (сульфидных) руд, требующих применения более агрессивных методов вскрытия, таких как бактериальное окисление или автоклавное выщелачивание, окисленное сырье Васильевского месторождения является классическим объектом для реализации технологии КВ.

Основными факторами, определяющими эффективность работы процесса кучного выщелачивания в зимний период, являются:

1. Качество руды – содержание золота в руде, гранулометрический состав, крупность, содержание мелочи и глинистых составляющих и т.д.
2. Система орошения – дождевание или капиллярное, концентрация раствора цианида, расход орошаемого раствора, рН и др.
3. Содержание золота в продуктивных растворах.
4. Состояние гидроизоляции, дренажных каналов и система сбора растворов.

Проведенный анализ процесса кучного выщелачивания показал, что в окисленных рудах Васильевского месторождения золота находится в основном в свободном состоянии и в сростках, т.е. в формах доступных для цианидного выщелачивания [2].

Анализ обследования протекания процесса КВ показал, что средние химические и физико-механические показатели составляют:

- содержание золота в руде – 0,52 г/т, крупность руды для выщелачивания - 50 мм;
- содержание мелочи -2+0 мм находится на уровне 13-20 %;
- испарение орошаемого раствора при орошении не превышает значения – 5 %.

Геометрические параметры штабеля составляют: высота – 3 слоя по 7 м;

- площадь внутренняя – 38750 м<sup>2</sup>, объем руды в штабеле порядка 900 000 т.
- норма расхода цианида для орошения кучи в летний период – 10 л/м<sup>2</sup> час;
- расход цианида в зимний период составляет порядка 18-20 кг/т, температура рабочего раствора – 18 °С, так как раствор подогревается [2].

Тип системы орошения: дождевание в летний период, в качестве разбрызгивателей используют вертушки «Wobbler»;

- капиллярное используется в зимний период, орошение подается с помощью пластиковых труб с отверстиями 3 мм с интервалом 1 м без воблеров;
- частота контроля процесса орошения осуществляется ежедневно.
- концентрация орошаемого раствора цианида составляет 0,05% при общем расходе 8-10 л/м<sup>2</sup> час и рН раствора цианида поддерживается на уровне 10,5-11,0.

Для исключения процесса закальцевания и заиливания пластиковых труб, в систему орошения, добавляют ингибитор – антискалант в количестве 4-6 г/м<sup>3</sup>.

По результатам анализа содержание золота в продуктивном растворе составило в пределах 0,1-0,25 г/м<sup>3</sup>.

Фактическое извлечение золота в раствор составило 62,66% при плановом 62,75%. Кривая извлечения золота во времени представлена на рисунке 1.



**Рисунок 1 – Кривая извлечения золота во времени**

Анализ потерь золота в процессе КВ основном связаны с потерями золота с хвоста, составляющими от 0,05 до 0,2 г/т и в растворе от 0,01 до 0,03 г/м<sup>3</sup>.

Проведенный визуальный осмотр состояния гидроизоляции и дренажной системы кучи показало, разрывов геомембраны не наблюдается, вся геомембрана укрыта слоем глины. Провалов и оседание кучи также не наблюдается, все кучи выдерживают свою геометрию и промерзание верхнего слоя не наблюдается.

Контроль дренажных каналов показало, что проходимость дренажных каналов не нарушена, задержка поступления растворов не наблюдалось, а также промывок и обвалов стен куч не было обнаружено [3].

Обследование работы системы сбора растворов показало, что растворы, пройдя через толщу кучи, под уклоном площадки беспрепятственно собираются в лобовой части бермы, в котором находится коллектор приема растворов.

В последующем растворы из коллектора через трубопроводы самотеком направляются в цех сорбции. Объем продуктивного раствора в сборнике ориентировочно составляет порядка 10000 м<sup>3</sup>.

Одновременно с анализом технологических параметров протекания процесса КВ осуществлялся экологический мониторинг за качеством подземных и поверхностных вод, а также состоянием почвы вокруг промплощадки и на границе санитарно-защитной зоны – СЗЗ.

Следует отметить, что контроль за качеством подземных вод ведется наблюдательными скважинами по следующим ингредиентам: азот нитратный, азот нитритный, аммоний солевой, взвешенные вещества, нефтепродукты, цианиды, взвешенные вещества, свинец, кадмий, медь, мышьяк, нитраты, нитриты, хлориды, сульфаты, аммоний солевой, сухой остаток, жесткость, железо.

Контроль и анализ за качеством поверхностных вод на реке Боко осуществляется в двух точках – 500 метров выше и ниже промплощадки.

Анализ почвы вокруг промплощадки на границе СЗЗ составляет менее 0,0025 мг/м<sup>3</sup> в четырех точках (север, юг, запад, восток) превышение ПДК – не обнаружено [4, 5].

Технико-экономические показатели работы при переработке руды в объеме: 1200 000 т составили: фактическое извлечение золота 62,66 %;

- средняя себестоимость извлеченного золота 106,44 долл./г;
- расход цианида 0,40 кг/т, расход NaOH 0,40 кг/т;
- энергопотребление составило 283,8 квт.х час.

По результатам проведенного обследования и анализа особенностей протекания процесса КВ выданы следующие рекомендации по работе и эксплуатации кучи в зимний период.

Для орошения руды в зимний период должна быть оборудована подземная система орошения путем заглубления пластиковых труб с отверстиями 3 мм с интервалом 1 м капельного орошения в кровлю рудного штабеля на глубину не менее 0,5 м.

Необходимо поддерживать подогрев орошаемого раствора, на участке переработки растворов, до температуры не менее 18°C.

Во избежание промерзания руды орошение в зимний период должно вестись по всей площади обрабатываемых секций рудного штабеля.

Следует учесть, что с переходом на зимний режим орошения на поверхности штабеля будет намораживаться слой льда мощностью не менее 10 см, который выполняет функцию теплоизоляции, создает парниковые условия. После формирования теплоизолирующего слоя орошение руды ведется через заглубленные в кровлю штабеля ленты капельного орошения.

Исследование особенностей процесса кучного выщелачивания на месторождении «Васильевское» подтверждает эффективность выбранной технологической стратегии для условий низких температур. Сочетание принудительного подогрева растворов, использования систем капельного орошения с глубоким заложением и формирования естественной ледяной теплоизоляции позволяет достигать плановых показателей извлечения золота (более 62%) даже при экстремально низких температурах окружающего воздуха. Применяемая система экологического мониторинга гарантирует отсутствие негативного воздействия на водные и земельные ресурсы региона, подтверждая техносферную безопасность производства. Дальнейшее совершенствование технологии должно быть направлено на повышение энергоэффективности систем подогрева и оптимизацию гранулометрического состава рудного штабеля для минимизации зон застойной фильтрации.

## Источники

- 1 Отчет о НИР Технологическое сопровождение процесса кучного выщелачивания золота из окисленных руд месторождения «Васильевское» с выдачей рекомендаций по их эксплуатации в зимний период, ГР №0125РКН0146, инв.№ 0226РКН0029, ГНПОПЭ Казмеханообр, Алматы, 2025. – 35 с.
- 2 Разработка проекта «Площадка 5 кучного выщелачивания золота из руды месторождений Боко-Васильевской рудной зоны, вместительностью 900.000 тонн руды». ТОО «АНТАЛ» 2021 год.
- 3 Правила обеспечения промышленной безопасности для хвостовых и шламовых хозяйств опасных производственных объектов, утверждены приказом Министра по инвестициям и развитию РК от 30 декабря 2014 года № 349 (с изменениями от 23 декабря 2015 года № 1221).
- 4 Санитарные правила «Санитарно-эпидемиологические требования по установлению санитарно-защитной зоны производственных объектов», утверждены приказом министра национальной экономики РК от 20.03.2015 года № 237.
- 5 Предельно допустимые концентрации вредных веществ и класс опасности в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования. Приложение 13 к техническому регламенту «Требования к безопасности токсичных и высокотоксичных веществ».

УДК 669.24:66.074.3

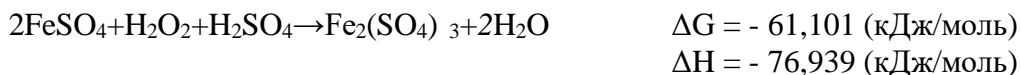
## ВЫДЕЛЕНИЕ ЖЕЛЕЗА ИЗ ПРОДУКТИВНЫХ РАСТВОРОВ ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ РУД БЕЛОГОРСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Осипов П.А., Шаяхметова Р.А.

*РГП «НЦ КИМС РК», г. Алматы, Казахстан*

Оценка продуктивных растворов, полученных в процессе выщелачивания руд Белогорского месторождения, показала, что основной проблемой для сорбционного разделения никеля и магния, является высокая концентрация соединений железа, которые практически полностью сорбируются с никелем. Поэтому задача селективного отделения железа методом гидролитического осаждения с применением активирующих реагентов является весьма актуальной.

В работе проведены исследования процесса гидролитической очистки продуктивных сернокислых растворов состава, (г/л): Ni -2,2; Fe -10,6; Mg -34,5 от примесей железа, с получением очищенного раствора и осадка гидроксида железа, пригодного для дальнейшего производства востребованного пигментного оксида. Для перевода двухвалентного железа ( $Fe^{2+}$ ) в трехвалентную форму ( $Fe^{3+}$ ) в кислых растворах применялся окислитель – перекись водорода ( $H_2O_2$ ). В качестве нейтрализующего реагента осаждения  $Fe^{3+}$  использовался раствор гидроксида натрия (NaOH) с концентрацией 110 г/л. Процессы протекают по следующим реакциям:



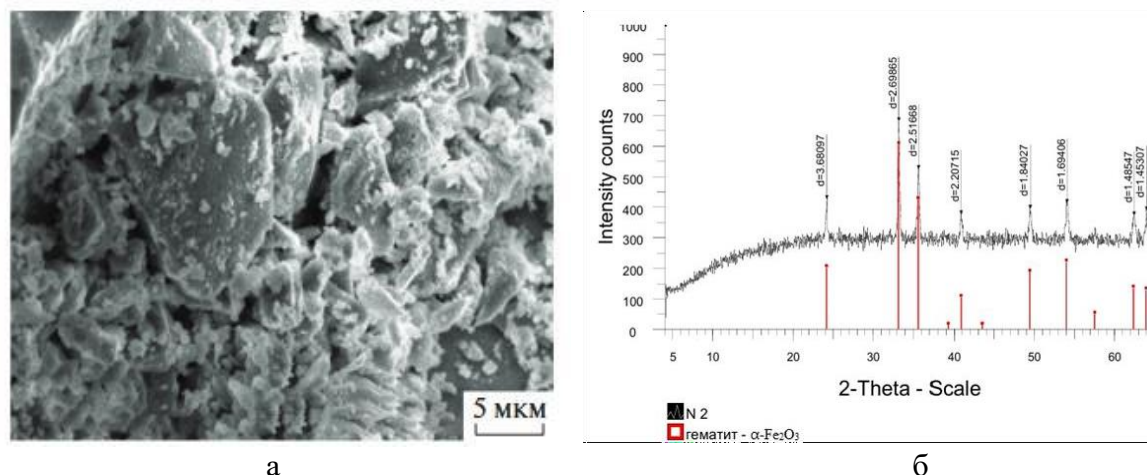
где  $\Delta G$  и  $\Delta H$  – энергия Гиббса и энтальпия процесса.

Установлено, что для многокомпонентных растворов, содержащих железо, никель и магний область осаждения железа не должна превышать pH 3,6-3,8. Степень осаждения железа при этом составляет 99,8%. При  $pH \geq 4$  происходит соосаждение никеля с осадками гидроксида железа, при этом потери никеля достигают 20-25% [1, 2].

Одним из факторов, влияющих на процесс осаждения железа, является температура. Оптимальные параметры осаждения: температура 70 °С, продолжительность 20 минут. Для улучшения фильтрационных характеристик железосодержащих гидратных осадков в пульпу перед фильтрацией необходимо вводить коагулянт Praestol 2500 (0,5%-й раствор) в количестве 5 мл на 1 литр исходного раствора. Данная добавка существенно улучшает сегрегацию железистого кека, что позволяет увеличить скорость фильтрации до 1 м/ч.

Процесс термической дегидратации гидроксида железа характеризуется следующими этапами: интенсивное удаление влаги начинается в температурном интервале 150–200 °С. Полное разложение завершается при 500 °С образованием стабильного оксида железа (III) гематит ( $\alpha-Fe_2O_3$ ), через промежуточную фазу метагидроксида  $FeO(OH)$  (гетита) при 200–450 °С [3].

Процесс образования метагидроксида железа (III) при дегидратации сопровождается интенсивной коагуляцией его частиц. На рисунке (а) представлено изображение СЭМ (сканирующего электронного микроскопа) полученного образца метагидроксида железа (III).



**Рисунок – Изображение СЭМ (а) и дифрактограмма (б) образца мета гидроксида железа(III), после прокаливания оксида железа при температуре 500 °С**

По представленным данным видно, что образец состоит из очень маленьких агрегированных частиц. Размер образовавшихся частиц оксида железа составляет десятки микрон, и они представляют собой агрегаты из более мелких первичных аморфных частиц нанометрового размера. Химический состав, %: 99,8 FeO(OH) и 0,2% S.

Экзоэффекты, наблюдаемые при температуре 500 °С соответствуют процессу кристаллизации гематита ( $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>,-), что подтверждается данными рентгенофазового анализа (рисунок б). На дифрактограмме четко выражены рефлексы, характерные для фазы гематита. Отсутствие пиков гидроксида и метагидроксида железа (III) свидетельствует о высокой чистоте полученного оксида. Таким образом, результаты подтверждают формирование стабильной фазы Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, пригодной для использования в качестве пигмента при производстве красок.

Таким образом, исследована гидролитическая очистка растворов от железа с применением H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, и установлен оптимальный диапазон осаждения pH 3,6–3,8, предотвращающий потери никеля. Для интенсификации фильтрации до 1 м/ч обосновано использование коагулянта Praestol 2500. Термическая дегидратация осадка при 500 °С протекает через стадию образования мета гидроксида железа (гетита.) Полученный пигментный оксид железа (III) проанализирован методами РФА, результаты подтверждают наличие стабильной фазы гематита Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, востребованного продукта лакокрасочной промышленности.

Данное исследование проведено в рамках программы (BR-23991563) «Создание инновационных ресурсосберегающих технологий добычи и комплексной переработки минерального и техногенного сырья», финансируемой Комитетом промышленности Министерства промышленности и строительства Республики Казахстан.

### Источники

- 1 Попов В. В., Горбунов А. И. Гидротермальная кристаллизация гидроксида железа (III) //Неорганические материалы. – 2006. – Т. 42. – №. 3. – С. 319-326.
- 2 LaGrow A. P. et al. Unravelling the growth mechanism of the co-precipitation of iron oxide nanoparticles with the aid of synchrotron X-Ray diffraction in solution //Nanoscale. – 2019. – Т. 11. – №. 14. – С. 6620-6628.
- 3 Petrova E. V., Dresvyannikov A. F. Synthesis of iron (III) oxide from solution under exposure to external electric field //Russian Journal of Applied Chemistry. – 2014. – Т. 87. – №. 5. – С. 555-560.

УДК 669.15-198

## ӘР ТҮРЛІ КӨМІРТЕКТІ ТОТЫҚСЫЗДАНДЫРҒЫШТАРДЫ ҚОЛДАНА ОТЫРЫП ХРОМ ШИКІЗАТЫН АЛДЫН АЛА ТОТЫҚСЫЗДАНДЫРУ

Сәулебек Ж.Қ.<sup>1,2</sup>, Махамбетов Е.Н.<sup>1</sup>, Исагулов А.З.<sup>2</sup>, Онуралп Ю.<sup>3</sup>, Смагулов А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Ж. Әбішев атындағы Химия-металлургия институты, Ермеков к-сі, 63,  
Қарағанды қ., Қазақстан

<sup>2</sup>Ә. Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Нұрсұлтан Назарбаев даңғ., 56,  
Қарағанды қ., Қазақстан

<sup>3</sup>Ыстамбұл техникалық университеті, Маслак, Ыстамбұл қ., Түркия

Хром кендері мен концентраттары феррохромдар мен арнайы болаттарды өндірудің негізгі шикізаты болып табылады. Балку үрдісін күшейтудің және электр энергиясының меншікті шығынын азайтудың тиімді әдістерінің бірі көміртекті тотықсыздандырғыштарды қолдана отырып, қатты фазада хром оксидтерін алдын ала тотықсыздандыру болып саналады [1-3]. Алдын ала тотықсыздану хром мен темірдің оксид формаларын ішінара металл күйіне келтіруге, шикізаттың фазалық және морфологиялық құрамын өзгертуге, сондай-ақ кейінгі электротермиялық өндеу жағдайларын жақсартуға мүмкіндік береді [4].

Алдын ала тотықсыздандырудың тиімділігі күйдіру температурасына, ұстау уақытына және газ фазасы мен қатты фазалы тотықсыздану реакцияларының кинетикасына әсер ететін көміртекті тотықсыздандырғыш түріне байланысты [5]. Осыған байланысты сканерлеуші электронды микроскоп (СЭМ) және энергия дисперсиялық спектрометр талдауы (ЭДС) әдістерімен алдын ала тотықсыздандырылған хром концентратындағы элементтердің морфологиялық өзгерістері мен таралуын зерттеу маңызды ғылыми және практикалық мәнге ие.

Бұл жұмыстың мақсаты – әртүрлі көміртекті тотықсыздандырғыштарды қолдана отырып, хром концентратын алдын ала тотықсыздандыру процесінің температура мен ұсталу уақытына тәуелділігін зерттеу, алынған материалдың металдану дәрежесін, морфологиялық ерекшеліктерін және элементтік құрамының өзгеруін бағалау, сондай-ақ тотықсыздандырудың тиімді режимдерін анықтау болып табылады.

Ж. Әбішев атындағы Химия-металлургия институтының базасында морфологияның өзгеруін зерттеу және металдандырылған хромды алу үшін әртүрлі көміртекті тотықсыздандырғыштары бар хром шикізатын алдын ала күйдіру бойынша зерттеулер жүргізілді.

Бастапқы шикізат ретінде Хромтау кен орнының хром концентраты пайдаланылды. Көміртекті тотықсыздандырғыш ретінде: арнайы кокс, металлургиялық кокс және Шұбаркөл кен орнының көмірі қолданылды. Хром концентратының химиялық құрамы, сондай-ақ көміртекті тотықсыздандырғыштардың техникалық және химиялық құрамы төменде Кесте 1 және Кесте 2 келтірілген.

### Кесте 1 – Хром концентратының химиялық құрамы

Материалдың атауы	Құрамы, %								
	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	К.к.ж	S
Хром концентраты	53,4	14,03	6,13	10,24	1,15	11,67	0,004	3,37	0,01

## Кесте 2 – Көміртекті тотықсыздандырғыштардың техникалық және химиялық құрамы

Материалдың атауы	Құрамы, %									
	C <sub>к</sub>	A	W	V	S <sub>күлден</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>жалпы</sub>	CaO	P <sub>жалпы</sub>
Арнайы кокс	93,53	3,29	0,18	3,11	2,74	21,91	47,48	11,25	7,53	0,099
Шұбаркөл көмірі	54,15	7,46	3,30	39,18	1,72	28,83	44,57	1,1	3,77	0,046
Кокс	87,0	10,86	0,17	2,23	1,20	22,53	56,92	5,0	6,28	0,51

Алдын ала тотықсыздандыру максималды жұмыс температурасы 1600 °С болатын SNOI зертханалық муфель пешінде жүргізілді. Алдын ала тотықсыздандыру 1200 °С және 1400 °С температурада жүргізілді, әр температура үшін 2, 4 және 6 сағат ұсталды.

Шикіқұрам материалдарының қатынасы қатты көміртектің хром оксидіне қатынасы 0,4 тең деп есептелді:

$$\frac{C_{\text{к}}}{Cr_2O_3} = 0,4 \quad (1)$$

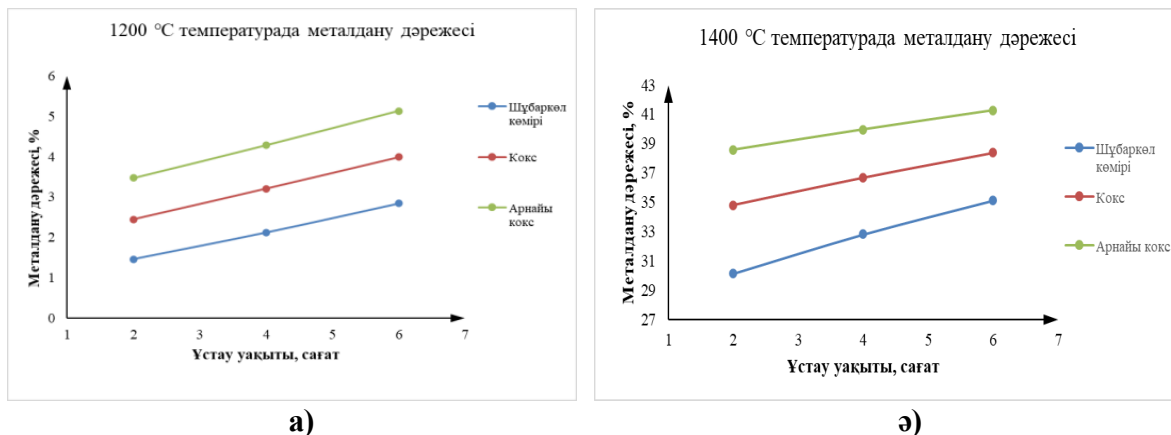
Есептеу нәтижесінде шихта материалының мынадай пайыздық қатынасы болды, %: хром концентраты – 81,3, арнайы кокс – 18,7; 2) хром концентраты – 87,2, Шұбаркөл көмірі – 27,8; 3) хром концентраты – 80, кокс – 20.

Жүргізілген зертханалық зерттеулер бойынша Кесте-3 келтірілген металдандыру дәрежесі бар әртүрлі дәрежедегі алдын ала тотықсыздандыру хром концентраттары алынды.

## Кесте 3 – Алдын ала тотықсыздандырылған хром шикізатының әртүрлі көміртекті тотықсыздандырғыштармен металдану дәрежесі

Шикіқұрам	Температура, °С	Уақыт, сағат	Металдану дәрежесі (%)	
Cr концентрат + арнайы кокс	1200	2	3.47	
Cr концентрат + кокс			2.45	
Cr концентрат + Шұбаркөл көмірі			1.46	
Cr концентрат + арнайы кокс		4	4	4.28
Cr концентрат + кокс				3.21
Cr концентрат + Шұбаркөл көмірі				2.12
Cr концентрат + арнайы кокс		6	6	5.13
Cr концентрат + кокс				3.99
Cr концентрат + Шұбаркөл көмірі				2.84
Cr концентрат + арнайы кокс	1400	2	38.58	
Cr концентрат + кокс			34.79	
Cr концентрат + Шұбаркөл көмірі			30.15	
Cr концентрат + арнайы кокс		4	4	39.97
Cr концентрат + кокс				36.68
Cr концентрат + Шұбаркөл көмірі				32.82
Cr концентрат + арнайы кокс		6	6	41.28
Cr концентрат + кокс				38.39
Cr концентрат + Шұбаркөл көмірі				35.13

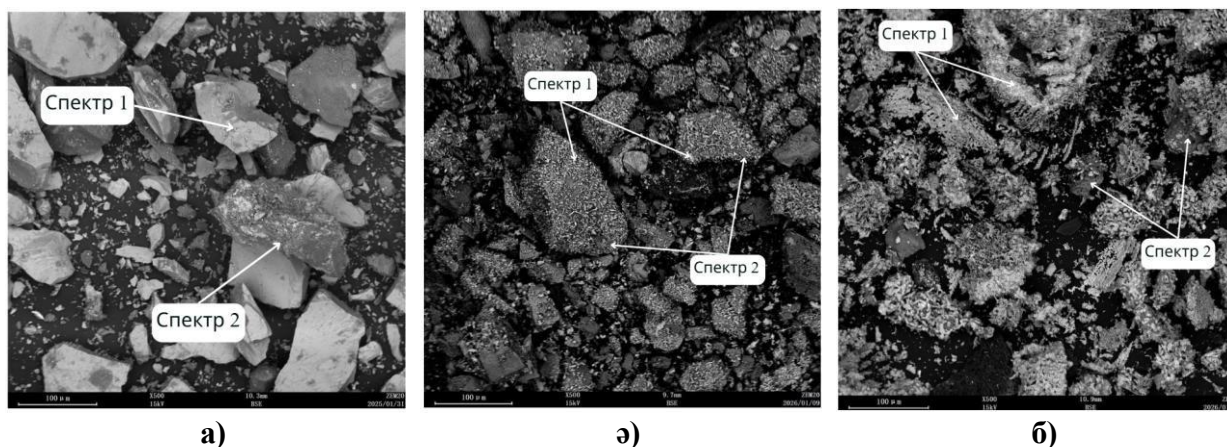
Кесте 3 1200 °С температурада көрсетілгендей, металдандыру дәрежесі соншалықты жоғары емес, тек 5 % дейін, ал 1400 °С температурада металдандыру дәрежесі бірнеше есе артады. 41 % - дағы ең жоғары көрсеткіш 6 сағаттық экспозицияда арнайы коксты қолдана отырып алдын-ала тотықсыздандырылады. Осы деректерді пайдалана отырып, металдандыру дәрежесінің 1200 және 1400 °С температурада ұстау уақытына тәуелділігі құрылды. График сурет 1-де көрсетілген.



**Сурет 1 – Металдандыру дәрежесінің а) – 1200 °С және ә) – 1400 °С температурада ұстау уақытына тәуелділігі**

Сурет-1 және Кесте-3 көріп отырғаныңыздай, металдандыру дәрежесі күйдіру температурасы мен ұстау уақытына байланысты, ал дәлірек айтсақ, температура мен ұстау уақыты неғұрлым жоғары болса, металдандыру дәрежесі соғұрлым жоғары болады.

Кесте-3 сәйкес көміртекті тотықсыздандырғыштардың арасында жақсы металдандыру дәрежесі 41,28% арнайы коксты қолдану арқылы алынды. Алынған химиялық талдау нәтижелері бойынша морфологияны зерттеу үшін сканерлеуші электронды микроскопта (СЭМ) талдаулар және алдын ала тотықсыздандырылған хром концентратының спектрлік талдауы туралы шешім қабылданды. Салыстыру ретінде 1200 және 1400 °С күйдіру температурасында және 6 сағат ұстау уақытында арнайы коксты тотықсыздандырғыш ретінде пайдалана отырып, алдын ала тотықсыздандырылған материалдан сынамалар алынды, сондай-ақ салыстыру үшін күйдіруге дейінгі хром концентратының суреттері келтірілген (Сурет-2).



**Сурет 2 – Арнайы коксты тотықсыздандырғыш ретінде пайдалана отырып, алдын ала тотықсыздандырылған хром шикізатының СЭМ суреттері: а – хром концентратының бастапқы нұсқасы; ә – 1200 °С температурада; б – 1400 °С температурада**

**Кесте 4 – 1200 және 1400 °С температурада, ұстау уақыты 6 сағат болатын алдын ала тотықсыздандырылған хром концентратының спектрлік талдауы**

Элементтер	Спектр 1			Спектр 2		
	Тотықсыздандыру температурасы, °С					
	Бастапқы	1200	1400	Бастапқы	1200	1400
	Құрамы, масса %					
C	-	1,40	1,17	-	12,33	9,35
O	50,03	0,99	1,04	52,64	44,32	47,78
Mg	15,97	0,25	0,20	24,78	16,02	26,70
Al	2,29	0,06	0,28	6,5	7,64	13,89
Si	3,03	0,07	0,04	12,87	5,47	0,14
Cr	26,59	80,65	88,76	2,66	11,26	1,70
Fe	2,09	15,08	6,30	0,55	2,35	0,44
Mn	-	1,50	2,21	-	-	-
S	-	-	-	-	0,48	-
Ca	-	-	-	-	0,13	-
Барлығы	100	100	100	100	100	100

Сурет 2 тотықсыздандырығыш ретінде арнайы коксты қолдана отырып, 6 сағат ұстай отырып, алдын ала тотықсыздандырылған хром шикізатының сканерлеуші электронды микроскопының суреттері келтірілген. Салыстыру үшін хром концентратының құрылымдары бастапқы түрінде зерттелді (Сурет 2, а), 1200 °С температурада алдын ала тотықсыздандыру (Сурет 2, ә), 1400 °С температурада алдын ала тотықсыздандыру (Сурет 2, в). Сурет 2а көріп отырғанымыздай, бастапқы хром концентраты бұрыштық бөлшектері бар тығыз түйіршікті құрылыммен, металл қосылыстарының болмауымен және оксид фазасының біркелкі таралуымен сипатталады. Бөлшектердің беті салыстырмалы түрде тегіс, бұл бастапқы күйдегі материалдың төмен реактивтілігін көрсетеді. 1200 °С температурада алдын-ала тотықсыздандыру кезінде металл фазаларының алғашқы пайда болуын байқауға болады, ол хром концентраты бөлшектерінің бетіне біркелкі таралған губка тәрізді морфологиямен сипатталады. Әрі қарай, температура 1400 °С дейін көтерілгенде, хром концентратының бөлшектерін толығымен қоршап тұрған металл фазаларын анық байқауға болады, сонымен қатар бөлек жатқан, толығымен тотықсыздандырылған металл хром бөлшектерін де байқауға болады.

Нәтижелерге сәйкес, температура 1200 °С - ден 1400 °С - ге дейін көтерілгенде, оксидті қосылыстардан металл хромын алу артады деп айтуға болады. Мұны 1200 °С және 1400 °С температурадағы Спектр 1 көрсетеді. Бұл ақшыл металл фазасы хромға бай, оның пайызы 80% - дан 88% - ға дейін көтеріледі, бірақ темір мөлшері 15,08% - дан 6,3% - ға дейін төмендейді. Мұны хром құрамының жоғарылауымен және ЭДС бағдарламалық кешенінің қайта есептелуімен түсіндіруге болады. Қара фазаларда (Спектр 2) шпинелиді қосылыстарға тән магний-кремний қосылыстарының, сондай-ақ алюминий оксидтерінің айтарлықтай мөлшерін байқауға болады. спектр 2-де 1400 °С температурада оксид бөлігіндегі хром мөлшері өте төмен және 1,7 %, темір 0,44% құрайды.

### **Қорытынды**

Жүргізілген зерттеулер барысында хром концентратын алдын-ала күйдіру материалдың металдану дәрежесіне, морфологиясына және элементтік құрамына айтарлықтай әсер ететіндігі анықталды. Күйдіру температурасының 1200-ден 1400 °С -

ге дейін көтерілуі және ұстау уақытының 6 сағатқа дейін ұлғаюы металдандыру дәрежесінің бірнеше есе өсуіне әкелетіні көрсетілген.

Ең жақсы нәтижелер металдандыру дәрежесі 41,28 % жететін көміртекті тотықсыздандырғыш ретінде арнайы коксты пайдалану арқылы алынады. СЭМ зерттеулері 1400 °С температурада кеуекті құрылым мен металл фазаларының түзілуін анықтады, ал ЭДС талдауының нәтижелері оттегінің айтарлықтай төмендеуін және металл хромының үлесінің өсуін растады.

Алынған деректер энергия шығынын азайту және технологиялық тиімділікті арттыру мақсатында қайта өңдеудің одан әрі жоғары температуралы үрдістерінде, оның ішінде феррохром өндірісінде алдын ала тотықсыздандырылған хром концентратын қолданудың орындылығын көрсетеді.

### Әдебиеттер

- 1 Bisaka K., Mosey A., Rampou M. Pre-reduction of chromite ores for ferrochrome production // Minerals Engineering, 2017.
- 2 Tangstad M., Safarian J. Ferrochrome production processes and energy efficiency // INFACON XV, 2018.
- 3 Beukes J.P., Dawson N.F., van Zyl P.G. Theoretical and practical aspects of chromite pre-reduction // Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy, 2010.
- 4 Linsmeier C., Rieth M., Aktaa J. High-temperature materials and reduction processes // Nuclear Fusion, 2017.
- 5 Surup G.R., Trubetskaya A., Tangstad M. Charcoal and coke as reductants in ferroalloy production // Processes, 2020.

УДК 669.168

## ЭФФЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ ХРОМОВОГО СЫРЬЯ КАЗАХСТАНА

Сариев О.Р.

*Актюбинский региональный университет им. К.Жубанова, г. Актюбе, Казахстан*

**Введение.** Актуальной проблемой ферросплавной промышленности является комплексное использование сырья: утилизация накопленных отходов и повышение извлечения целевых компонентов в основных процессах [1-3]. Исследование посвящено двум инновационным решениям: переработке обедненных хромовых хвостов Донского ГОКа и внедрению системы раздельного выпуска шлака и металла на печах феррохрома.

**Методология и технологические решения.** Исследования основывались на комбинации теоретического моделирования, лабораторно-промышленных испытаний и полномасштабного внедрения.

*Технология переработки обедненных хромовых хвостов.*

В качестве объекта исследований использовались хвосты Донского ГОК с содержанием  $Cr_2O_3$  15-25%, фракции 0-10 мм. В качестве основного метода обогащения выбран гравитационный метод отсадки, доказавший свою эффективность для зернистых материалов с высокой разницей в плотности полезного минерала и пустой породы. Работы проводились на отсадочных комплексах КПФШ-50 в цехе переработки шлаков Актюбинского завода ферросплавов (АктЗФ). Для адаптации стандартного оборудования под специфику сырья был реализован комплекс оптимизационных мероприятий:

1. Кинематический режим: Частота пульсации постели увеличена с 1,5-2 до 2-2,5 подъемов в секунду для интенсификации процесса рыхления и улучшения условий сепарации частиц по плотности.

2. Конструкция сит: Стандартные сита с шириной щели 2 мм заменены на щелевые сита шириной 3 мм. Это предотвратило быстрое забивание ситовой поверхности мелкодисперсной фракцией (0-1 мм) и обеспечило стабильное распределение воздушного потока.

3. Гидравлический режим: Увеличена подача воды в отсадочную машину для снижения вязкости пульпы и облегчения подвижности частиц, что способствовало более четкому разделению на продукты.

Опытно-промышленные испытания (ОПИ) были проведены на двух площадках: АктЗФ и Аксуском заводе ферросплавов (АксЗФ).

*Разработка и внедрение системы раздельного выпуска.*

Для решения проблемы потерь металла со шлаком была применена последовательная методология:

1. Анализ термического равновесия (ТЕА): С помощью программного комплекса HSC Chemistry проведено моделирование материально-энергетических балансов процесса плавки, что позволило установить теоретические пределы и верифицировать исходные данные.

2. CFD-моделирование: Для прогнозирования гидродинамики расплавов при выпуске использована трехмерная переходная модель в среде ANSYS Fluent на основе метода объема жидкости (VOF). Модель учитывала свойства фаз, граничные условия и позволяла проводить параметрическое исследование различных конфигураций леток. Критерием оптимизации была минимизация уноса металлической фазы в шлаковый поток.

3. Техничко-экономическое обоснование (ТЭО): На основе оптимальной конфигурации проведена детальная оценка капитальных (CAPEX) и эксплуатационных (OPEX) затрат, рассчитаны ключевые финансовые показатели (NPV, IRR, срок окупаемости).

4. Промышленная апробация: Внедрение системы осуществлено на печи №12 плавильного цеха №1 АктЗФ в 2024-2025 гг. В процессе эксплуатации проводился мониторинг технологических параметров и их корректировка.

**Результаты и их обсуждение.** ОПИ подтвердили высокую эффективность оптимизированной схемы отсадки (Таблица 1).

**Таблица 1 – Технологические показатели обогащения хромовых хвостов**

Хвосты ДГОК (0-10 мм)	АктЗФ	66,6	35 – 51
Хвосты ДГОК (5-10 мм)	АктЗФ	73,1	35 – 51
Хвосты ДГОК	АкзЗФ	66,7	32 – 45

Наилучший результат (73,1%) достигнут для узкой фракции 5-10 мм, где условия гравитационного разделения наиболее благоприятны. Полученный концентрат полностью соответствует требованиям к шихтовым материалам плавильных цехов. Суммарный выход товарных продуктов (концентрат + промпродукт) составил 28,3-36,6%. Воспроизводимость технологии доказана на оборудовании АкзЗФ.

Важным результатом является значительный экономический эффект. За счет создания стабильного источника вторичного сырья, сокращения закупок первичного концентрата и снижения экологических платежей совокупный эффект для АктЗФ и АкзЗФ оценивается в 21 млн долларов США.

### **Заключение**

Представленные технологии демонстрируют высокую технологическую и экономическую эффективность, вносят вклад в реализацию принципов циркулярной и ресурсосберегающей экономики. Переработка хвостов решает проблему накопленных отходов, создавая источник вторичного сырья, а система отдельного выпуска существенно повышает извлечение ценного металла. Оба решения готовы к тиражированию на предприятиях отрасли.

### **Источники**

- 1 Папин А.В., Маликов В.И. Экологические проблемы горно-металлургического комплекса и пути их решения // Цветные металлы. – 2020. – № 5. – С. 44-49.
- 2 Lottermoser, B. G. Mine Wastes: Characterization, Treatment and Environmental Impacts. – 3rd ed. – Berlin: Springer, 2010. – 400 p.
- 3 Соколов А.С., Калинин Ю.О. Утилизация и переработка отходов обогащения полезных ископаемых. – М.: Горная книга, 2018. – 215 с.

УДК 537.8.029

## НОВЫЙ МЕТОД ИДЕНТИФИКАЦИИ ВЕЩЕСТВ МЕТОДАМИ МАГНИТНОГО РЕЗОНАНСА В МАГНИТНОМ ПОЛЕ ЗЕМЛИ

Хасен Б.

*Независимый исследователь*

Магнитный резонанс в магнитном поле земли приобретает большое научное и практическое значение в химии, магнитной томографии и геофизике. Много исследований проводится в этом направлении. Особый интерес представляют работы по длинноволновому зондированию и разработанные приборы. Эти приборы позволяют идентифицировать различные материалы дистанционно без использования дорогостоящих магнитов, однако имеют невысокую точность. Нами проводились исследования по длинноволновому зондированию в области геологии. Изучались условия залегания подземных вод, угольных пластов и медных руд. Наиболее успешным оказалось исследование подземных водных потоков. Установлено, что в основе данного метода лежат Ядерный Магнитный и Электронный Парамагнитный Резонансы в магнитном поле Земли (EFNMR и EFPMR). Химические элементы, минералы и вода имеющие неспаренные магнитные моменты способны излучать электромагнитные поля вследствие расщепления энергетических уровней в магнитном поле земли. Переходы между энергетическими уровнями вызывают появление электромагнитных полей в радиусе 3-4 м, которые можно фиксировать с использованием разработанных приборов. В работе провели исследования определения резонансных частот химических элементов, минералов, воды в области ЯМР и ЭПР в магнитном поле земли. Это область Ультранизких (ULF) и Очень низких частот (VLF). Оценить химический сдвиг при определении резонансных частот магнитных переходов. Оценить влияние геомагнитной обстановки на резонансные частоты. Эти данные позволят показать, что в основе метода лежит магнитный резонанс в магнитном поле земли. Новый метод значительно отличается от методов традиционного исследования ЯМР в магнитном поле земли.

Ключевые слова: ЯМР в магнитном поле земли; ЭПР в магнитном поле земли; частота Лармора; ультранизкие частоты, очень низкие частоты; детектор низких частот.

**Введение.** Параллельно с развитием ЯМР в сильных магнитных полях шли исследования ЯМР в слабых полях. Основой для таких исследований послужили результаты исследования Паккарда и Вариана [1]. ЯМР в магнитном поле земли не требует сильных магнитов, что ведет к снижению стоимости и уменьшению размеров аппаратуры. Хорошо зарекомендовала себя в подавлении шумов предварительная поляризация ядер магнитным полем низкой частоты [2-5]. Однако ЯМР в слабых магнитных полях или в магнитном поле земли не дает возможности проводить исследования объектов дистанционно. Единственный метод дистанционного измерения резонанса в слабых полях, это электромагнитное зондирование, которое получило название поверхностный ядерный магнитный резонанс или магнитно-резонансное зондирование (Magnetic Resonance Sounding MRS). Благодаря уникальной чувствительности к протонам водорода, магнитно-резонансное зондирование непосредственно обнаруживает воду и может предоставить информацию о свойствах подповерхностного водоносного горизонта без нарушения поверхностного слоя. Метод протонного магнитно-резонансного зондирования для исследования подземных вод был разработан в России в начале восьмидесятых годов группой ученых, которые затем построили первое оборудование для MRS, названное «ГИДРОСКОП» [6], которое позволяет определить глубину и мощность водоносных горизонтов на глубине от 100 до

150м [7]. В настоящее время MRS является геофизическим методом для установления водоносных горизонтов в приповерхностном слое. Для этого метода также актуальным остается проблема шумов. Подавление шумов все также остается областью исследований.

Изобретатель З. Янкович разработал и дал развитие новому методу длинноволнового резонансного зондирования, но не дал объяснения методу. Работы выполнялись без научного обоснования [8-9] не было понимания, что лежит в основе данного метода. С развитием этих работ по исследованию подземных водных потоков, угольных пластов и медных руд пришло понимание, что в основе метода З.Янковича лежит электронный парамагнитный резонанс в магнитном поле земли. В дальнейшем нами было определено, что длинноволновое зондирование включает и область ядерного магнитного резонанса в магнитном поле земли.

**Методы исследования.** Химические элементы и их соединения, имеющие неспаренные магнитные моменты способны как поглощать, так и излучать электромагнитные поля вследствие расщепления энергетических уровней спинового состояния в магнитном поле земли. Электромагнитное излучение возникает при переходах с более высокого уровня на нижний энергетический уровень. Переходы между энергетическими уровнями вызывают появление электромагнитных полей в радиусе 3-4 м, как это было установлено в последующих экспериментах на образцах весом 50-100г. Переходы в магнитном поле земли происходят в области Ультранизких частот (ULF) 300-3000Гц и Очень низких частот (VLF) 3-30кГц. Все, что нас окружает, индуцирует электромагнитные волны в этих диапазонах частот. Нами разработан прибор для идентификации объектов с точностью до  $10^{-10}$ Гц. Это антенна, которая удерживается в руке. Антенна направлена вперед от себя и при совпадении частоты, набранной на экране дисплея с частотой перехода, антенна отклоняется в сторону. По таблицам частот ЯМР корпорации Bruker определяется Ларморова частота для данного элемента и данного магнитного поля земли. Эта частота будет иметь приближенный характер. Изменяя эту частоту на дисплее детектора, на самом дальнем расстоянии от образца, которое находится в пределах 3-4м, подбирают ее с точностью до  $10^{-10}$ Гц. Таким образом получают частоту перехода или Ларморовую частоту для исследуемого химического элемента. Содержание определяется набором на дисплее выражения:

$$\text{FrX3-LnCLogX3} \quad (1)$$

где Fr – Частота элемента или объекта,

C – концентрация в г/т.

Выражение (1) применимо для ЯМР и ЭПР диапазона.

**Результаты.** С использованием детектора мы провели измерения частоты и содержания золота в ЯМР и ЭПР диапазоне. Измерения проводили на открытой местности. Коэффициент геомагнитной активности  $K_p=2$ . Сначала определили ЯМР и ЭПР частоты золота в порошке, полученном соевым выщелачиванием золотого шлиха, и золотых зубных коронок. Вес золота составлял 10 г в обоих образцах. Частоту в ЯМР диапазоне устанавливали по таблице Ларморовых частот компании Bruker с точностью до 3-го знака после запятой для поля земли  $57\mu\text{T}$ . Это примерная величина интенсивности магнитного поля по месту проведения измерений. После этого подбором определяли Ларморовую частоту с точностью до  $10^{-10}$ Гц. Для этого с установленной на детекторе частотой приближались к золотому образцу до тех пока, антенна детектора не отклонялась в сторону. Затем постепенно увеличивая точность определения частоты на детекторе, отдалялись от образца пока точность частоты не достигала  $10^{-10}$ Гц. Дальнейшее увеличение точности в экспериментах не представлялось возможным, так

как расстояние до образца практически не изменялось. Образец индуцирует энергию переходов в пространстве. Для однородных объектов приближением с разных сторон можно установить их геометрическую форму в плоскости измерения. Это может оказаться полезным в археологии, когда объекты похоронены на небольшой глубине. Затем по выражению (1) подбором устанавливали содержание золота в образцах; при этом на детекторе набирали найденную с высокой точностью частоту и располагались на том же расстоянии, при которой она была определена. Выражение (1) связано с пиковой интенсивностью индуцированного излучения, которое соответствует концентрации [9]. Если построить зависимость интенсивности (концентрации) от частоты, то полуширина линии индуцированного излучения будет примерно равна половине значения точности измерения. С повышением точности измерения мы все более приближаемся к точному определению концентрации. Приближенную частоту ЭПР переходов брали из данных З. Янковича и также подбором устанавливали ее значение с точностью  $10^{-10}$  Гц. Следует учитывать, что измерения надо проводить быстро, пока не поменялась геомагнитная обстановка на месте измерения. В противном случае надо проводить повторные измерения частоты. Полученные данные по измерению золота приведены в таблице 1. В порошке получено хорошее совпадение концентрации Au в обоих спектрах. Для зубных коронок совпадение в ЯМР спектре и ЭПР спектре не точное, но достаточно удовлетворительное. Частота, определенная с точностью  $10^{-10}$  Гц, регистрирует сигнал от образцов на максимальном расстоянии, которое можно установить в реальных условиях измерения; при этом нет необходимости специально подавлять шумы с использованием магнитной поляризации и последовательной предполяризацией. Подбор частоты с большой точностью значимо увеличивает соотношение сигнал/шум, что позволяет оценивать содержание элемента в объекте.

**Таблица 1 – Содержание Au**

Наименование образца	Частота ЯМР, Гц	Частота ЭПР, Гц	Содержание Au, %	
			ЯМР	ЭПР
Порошок	42,9251940011	4997,1790107010	98,20	98,20
Коронки			63,31	62,84

Еще одним примером служит измерение изотопов меди. Если золото находится на краю интервала ЯМР и ЭПР спектров, то медь располагается в середине этих интервалов. Вблизи частот меди может наблюдаться большое количество сигналов от других объектов, что приводит к появлению других артефактов, которые могут мешать точному определению частоты самой меди. Желательно устранить влияние артефактов на месте измерения. В обычных условиях изотопы  $^{63}\text{Cu}$  и  $^{65}\text{Cu}$  определяются массовой спектрометрией, стандартной ЯМР-спектроскопией или дифракцией нейтронов. Использование низкочастотного детектора для этих целей намного проще. Провели исследование двух медных образцов с определением частоты и содержания меди. Один из них медный электрический провод, а другой – электрический медный контактор. Оба объекта содержат небольшое количество примесей. В таблице 2 представлены результаты измерений, в том числе и для двух изотопов меди. Медный провод дает одно и то же содержание меди как в ЯМР спектре, так и ЭПР спектре, которое составляет 99,91%. Если сравнивать содержание в обоих образцах, то оно различно. В ЯМР спектре видно, что контактор содержит два изотопа меди. Контакттор состоит из 63-го и 65-го изотопа Cu. При съемке в ЭПР спектре 63-ий изотоп меди изменяет частоту меди в 7-ом знаке после запятой.

Таблица 2 – Содержание изотопов Cu

Спектор	Частота, Гц	Содержание Cu, %	
		Провод	Контактор
ЭПР	10783,0320991101	99,91	-
	10783,0320990110	-	65,51
ЯМР <sup>63</sup> Cu	643,4871230101	99,91	65,51
ЯМР <sup>65</sup> Cu	689,3112220301	0	34,3

### Выводы

ЯМР в магнитном поле земли на 2 порядка ниже, чем ЭПР в магнитном поле земли элементов и химических веществ. ЯМР наблюдается в области ультранизких частот (ULF) 300-3000 Гц, в то время, как ЭПР в магнитном поле земли располагается в области Очень низких частот (VLF) 3-30 кГц. Метод дает возможность дистанционно устанавливать содержание в объектах с использованием набора выражения на дисплее детектора FrX3-LnCLogX3. Все это открывает большие перспективы использования нового метода магнитного резонанса в магнитном поле земли, в том числе и в практическом отношении.

### Источники

- 1 M. Packard, R. Varian, Free nuclear induction in the Earth's magnetic field, Phys. Rev. 93 (1954) 941
- 2 Chao Liu, Baolin Chang, Longqing Qiu, Hui Dong, Yang Qiu, Yi Zhang, Hans-Joachim Krause, Andreas Offenhäusser, Xiaoming Xie. Effect of magnetic field fluctuation on ultra-low field MRI measurements in the unshielded laboratory environment. Journal of Magnetic Resonance 257 (2015) 8-14 <https://doi.org/10.1016/j.jmr.2015.04.014>
- 3 E. Balci, B. Rameev, H. Acar, G. V. Mozzhukhin, B. Aktas, B. Colak, P.A. Kupriyanov, A.V. Ievlev, Yu.S. Chernyshev, V.I. Chizhik. Development of Earth's Field Nuclear Magnetic Resonance (EFNMR) Technique for Applications in Security Scanning Devices. Appl Magn Resonance Volume 47, pages 87-99, (2016) DOI 10.1007/s00723-015-0730-z DOI:10.1109/MSMW.2016.7538215
- 4 П.А. Куприянов, К.А. Дмитриев, А.В. Чижик, О некоторых усовершенствованиях регистрации ядерного магнитного резонанса в земном поле. Вестник СПбГУ. Сер. 4. Т. 3 (61). 2016. Вып. 1, Стр. 59-69. P.A. Kupriyanov, K.A. Dmitriyev, A.V. Chizhik, O nekotorykh usovershenstvovaniyakh registratsii yadernogo magnitnogo resonansa v zemnom pole. Vestnik SPbGU, Ser. 4, T. 3(61), 2016, Vyp. 1, P. 59-69
- 5 Cengiz AKAY1, Handan ENGİN KIRIMLI, NMR Spectroscopy in the Earth's Magnetic Field, BITLİS EREN UNIVERSITY JOURNAL OF SCIENCE, VOLUME: 12 NO: 2 PAGE: 428-434 YEAR: 2023 DOI:10.17798/bitlisfen.1232239
- 6 **Indian Geophysical Union** Anatoly Legchenko, Jean-Michel Baltassat, Alain Beauce, Jean Bernard Nuclear magnetic resonance as a geophysical tool for hydrogeologists. Journal of Applied Geophysics Volume 50, Issues 1-2, May 2002, Pages 21-46 [https://doi.org/10.1016/S0926-9851\(02\)00128-3](https://doi.org/10.1016/S0926-9851(02)00128-3)
- 7 A.G. Semenov, M.D. Schirov, and A.V. Legchenko 1987, On the technology of subterranean water exploration founded on application of nuclear magnetic resonance tomograph Hydroscope, IXth Ampere summer school, Abstracts, Novosibirsk, September 20-26, 1987, p. 214.
- 8 Б.П. Хасен, С.Н. Лис, А. Новитович, А. Марович, Исследование геологических и технологических параметров угольных пластов Талдыкудукского участка Карагандинского угольного бассейна методом ГЕО-ЭМР. Геология и охрана недр №2,

- 2016, С. 84-95. В.Р. Khassen, S.N. Lis, A. Novitovich, A. Marovich Issledovanie geologicheskikh I technologicheskikh parametrov ugolnykh plastov Taldykudukskogo uchastka Karagandinskogo ugolnogo baseina metodom GEO-EMR. Gologiya I okhrana neдр #2, 2016, P. 84-95/
- 9 Б.П. Хасен, С.Н. Лис, А.А. Касимов, Г.М. Балтабекова, Длинноволновое зондирование месторождений полезных ископаемых, Горно-металлургическая промышленность, №11 (113) ноябрь 2017, С.30-33. В.Р. Khassen, S.N. Lis, А.А. Kasimov, G.M. Baltabekova Dlinnovolnovoe zondirovanie mestorozhdenii poleznykh iskopayemykh, Gorno-metallurgicheskaya promyshlennost, #11 (113) noyabr 2017, P. 30-33

УДК 622.7.09

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ВОЗМОЖНОСТИ ОБОГАЩЕНИЯ БЕРИЛЛИЕВОЙ РУДЫ МЕСТОРОЖДЕНИЯ КАРАДЖАЛ

Хлебникова И.А., Кылышканов М.К., Подойников М.А, Шестаков К.А.

*АО «УМЗ», г. Усть-Каменогорск, Казахстан*

Следует ожидать, что по мере развития новых технологий и расширения областей применения бериллия и оксидной керамики потребность промышленности в бериллийсодержащей продукции будет возрастать [1]. В этой связи представляют интерес состояние минерально-сырьевой базы бериллия в Казахстане и оценка возможности получения первичных концентратов бериллия с использованием рудного материала месторождения Караджал.

Данное месторождение является флюорит – магнетитовым, содержит метасоматиты сложного состава, в которых, присутствует BeO [2]. Для оруднения Караджал характерна полосчатая текстура, с чередованием полос магнетитового и флюоритового состава. Флюорит на месторождении представлен тремя генерациями от крупнозернистой, среднезернистой кристаллической формы до тонкозернистой и скрыто кристаллической агрегатной морфологией.

В процессе исследований химического состава определено, что основными компонентами в исследуемых пробах являются оксиды железа, соединения кальция и фтора, оксиды кремния и алюминия. Железосодержащими минералами являются магнетит и частично окисленный магнетит, что подтверждается определенным соотношением в минерале Fe(II) и Fe(III), уменьшением плотности магнетита по сравнению с теоретической и увеличение его пористости. Другими основными рудными минералами являются флюорит и кварц, наблюдающиеся в виде прожилок и блоков в магнетите.

Согласно проведенным анализам установлено, что в пробах рудного материала месторождения Караджал содержание оксида бериллия варьируется от 0,06 до 0,97 %, что характеризует руду как неоднородную. Предположительно бериллий содержится в виде хризоберилла, практика обогащения которого отсутствует. По размеру вкрапленности бериллиевых минералов исследуемая руда относится к тонкодисперсной, так как хризоберилл представлен в виде агрегатов зерен микронного диапазона, что делает проблематичным обогащение данной руды.

Проведены физико-механические испытания проб рудного материала с целью комплексного определения характеристик рудного материала.

Выполнены исследования по определению возможности обогащения методом магнитной сепарации [3]. Изучены параметры мокрой магнитной сепарации с варьированием крупности материала и возможности комбинирования различных методов интенсификации обогащения, основанных на результатах системного анализа. Исследованы механизмы флотации по нескольким схемам с использованием широкого спектра реагентов.

Рассмотрена возможность выщелачивания бериллийсодержащих соединений из полученных концентратов с применением серной кислоты. Изучено влияние температурного фактора, концентрации кислотного агента, продолжительности и количества стадий. Установлена возможность извлечения более 60 % бериллия, со сквозным извлечением бериллия по операциям предлагаемой технологической схемы - 28 %. Основные потери целевого компонента фиксируются на операции магнитной сепарации и обусловлены тем, что бериллий присутствует в магнетите в виде

изоморфной примеси, что исключает абсолютное разделение бериллия в процессе магнитной сепарации.

По итогам исследований установлена принципиальная возможность обогащения рудного материала месторождения Караджал до уровня значений содержания BeO – 1,4 %, что ниже требований, предъявляемых к концентратам бериллия (в концентратах III сорта содержание BeO более 3 %). Согласно предлагаемой схеме обогащения руды Караджал в процессе переработки образуются следующие побочные продукты – магнетит и флюорит, являющиеся ценным сырьем для получения стали и фторсодержащей продукции.

### **Источники**

- 1 Лекции ученых МГУ. Геологический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова. Еремин Н.И. «Стратегическое, дефицитное и критическое минеральное сырье», 2020. – С. 56-64.
- 2 Черненко З.И., Матайбаева И.Е. «Особенности образования и перспективная оценка редкометалльно-флюоритового типа оруденения месторождения Караджал» (Восточный Казахстан) Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск ISSN 1561-4212. «ВЕСТ-НИК ВКТУ». – № 3. – 2020.
- 3 Прогрессивные методы обогащения и технологии глубокой переработки руд цветных, редких и платиновых металлов (Плаксинские чтения): Материалы международного совещания (2-8 октября 2006 г.); ГОУ ВПО «ГУ-ЦМиЗ»; ИХХТ СО РАН. – Красноярск, 2006.

УДК 669.2/.8

## ОБЗОР МЕТОДОВ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ПРОЦЕССА ЦИАНИРОВАНИЯ ЗОЛОТА НА ОСНОВЕ ОРГАНИЧЕСКИХ ДОБАВОК

Хумарбекұлы Е.

*Филиал РГП «НЦ КПМС РК» ГНПОПЭ «Казмеханобр», г. Алматы, Казахстан*

**Введение.** Кучное выщелачивание золота с использованием щелочных цианидных растворов является одной из наиболее широко применяемых гидрометаллургических технологий переработки низкосортных золотосодержащих руд. Его промышленная привлекательность обусловлена сравнительно низкими капитальными и эксплуатационными затратами, а также возможностью переработки руд, экономически невыгодных для традиционного агитационного выщелачивания. Вместе с тем эффективность кучного выщелачивания во многих случаях остается ограниченной вследствие низкой скорости растворения золота, недостаточной концентрации растворенного кислорода, пассивации поверхности золотин и повышенного расхода цианида, связанного с присутствием химически активных примесных минералов [1].

Результаты последних лабораторных и опытно-промышленных исследований показывают, что применение вспомогательных окислителей и органических добавок позволяет эффективно повысить кинетику растворения золота и общее извлечение металла. Среди таких реагентов наибольший интерес представляют пероксид водорода и ацетат натрия, отличающиеся высокой эффективностью, доступностью и относительно низкой экологической нагрузкой.

### ***Влияние пероксида водорода***

Пероксид водорода рассматривается как вспомогательный окислитель и дополнительный источник растворенного кислорода при цианидном выщелачивании золота. Ее применение способствует интенсификации катодных реакций и окислению сульфидных минералов, экранирующих поверхность золотин. Экспериментальные данные показывают, что наибольший эффект достигается при использовании перекиси водорода в виде предварительной обработки руды перед цианированием, а не при ее прямом введении в цианидный раствор [2].

В процессе предварительной обработки пероксид водорода окисляет сульфидные минералы по обобщенным реакциям:



Такая обработка повышает доступность золота за счет разрушения минералогических оболочек и предотвращает образование пассивирующих пленок. Лабораторные и опытно-промышленные испытания подтверждают, что предварительное окисление руды пероксидом водорода приводит к увеличению извлечения золота без существенного роста расхода цианида.

### ***Влияние ацетата натрия***

Ацетат натрия, являющийся натриевой солью уксусной кислоты, исследован в качестве органической добавки для интенсификации цианидного выщелачивания золота. В щелочных цианидных средах ацетат-ионы взаимодействуют с гидроксидами и

продуктами окисления сульфидных минералов, образуя растворимые ацетатные комплексы и способствуя удалению пассивирующих пленок с поверхности золота.

Результаты лабораторных исследований показали, что добавление ацетата натрия оказывает положительное влияние на кинетику цианидного выщелачивания золота при различной крупности рудного материала, что связывается с улучшением условий массопереноса и снижением степени пассивации поверхности золота [3].

Результаты лабораторных бутылочных тестов и опытно-полупромышленных испытаний в условиях кучного выщелачивания показали устойчивое увеличение извлечения золота при добавлении ацетата натрия по сравнению с традиционным цианированием. Наблюдаемый эффект объясняется улучшением состояния поверхности золота, снижением реакций взаимодействия цианида с примесными минералами и более эффективным использованием реагента [4].

### ***Совместное применение перекиси водорода и ацетата натрия***

Комбинированное использование предварительной обработки руды пероксидом водорода и последующего цианирования с добавлением ацетата натрия приводит к синергетическому эффекту интенсификации процесса. Пероксид водорода повышает доступность золота за счет окисления сульфидных минералов, тогда как ацетат натрия стабилизирует процесс выщелачивания и снижает степень пассивации поверхности металла. Опытно-промышленные исследования показывают, что данный подход обеспечивает более высокое извлечение золота по сравнению с отдельным применением указанных реагентов [5].

Для наглядного сопоставления различных реагентных подходов в таблице 1 приведена обобщенная характеристика систем выщелачивания, используемых для интенсификации цианидного процесса, с указанием основных механизмов воздействия и подтвержденных эффектов.

**Таблица 1 – Влияние реагентных подходов на эффективность цианидного выщелачивания золота**

<b>Система выщелачивания</b>	<b>Основной механизм воздействия</b>	<b>Преимущества</b>
Традиционное цианирование	Растворение золота в щелочной цианидной среде при участии растворенного кислорода	Простота реализации; промышленно отработанная технология; низкие капитальные затраты
Цианирование с предварительной обработкой пероксидом водорода	Окисление сульфидных минералов и разрушение оболочек, экранирующих золото	Повышение доступности золота; ускорение кинетики выщелачивания; отсутствие прямого взаимодействия перекиси с цианидом
Цианирование с добавлением ацетата натрия	Удаление пассивирующих пленок и стабилизация поверхности золота	Повышение извлечения золота; более эффективное использование цианида; относительная экологическая безопасность реагента
Комбинированный подход ( $H_2O_2$ + ацетат натрия)	Синергетическое сочетание окисления сульфидов и стабилизации поверхности золота	Максимальное извлечение золота; снижение влияния пассивации; высокая устойчивость процесса

## Выводы

Рассмотренные реагентные подходы представляют собой перспективное направление повышения извлечения золота при переработке низкосортных руд. Пероксид водорода является эффективным вспомогательным окислителем при использовании в виде предварительной обработки руды, обеспечивая повышение доступности золота за счет окисления сульфидных минералов. Ацетат натрия проявляет себя как эффективная органическая добавка, способствующая удалению пассивирующих пленок и более рациональному использованию цианида. Совместное применение перекиси водорода и ацетата натрия обеспечивает синергетический эффект интенсификации без необходимости существенного изменения традиционных технологических схем.

## Источники

- 1 Surimbayev, B., Bolotova, L., Akcil, A., et al. (2026). Technology Development of Gold Heap Leaching in Kazakhstan: An Overview // *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review*, 47(2), 226–253. <https://doi.org/10.1080/08827508.2024.2448786>
- 2 Yessengarayev, Y. K., Surimbayev, B. N., Baimbetov, B. S., Mamyachenkov, S. V., & Kanaly, T. S. (2021). Ore treatment hydrogen peroxide during heap leaching of gold // *Kompleksnoe Ispolzovanie Mineralnogo Syra= Complex use of mineral resources*, 316(1), 5-14. <https://doi.org/10.31643/2021/6445.01>
- 3 Yessengarayev, Y., Baimbetov, B. S., Mamyachenkov, S. V., Surimbayev, B. N., & Prozor, N. G. (2020). Study of the process of cyanide leaching of gold using sodium acetate at different ore sizes // *Kompleksnoe Ispolzovanie Mineralnogo Syra= Complex use of mineral resources*, 312(1), 59-68. <https://doi.org/10.31643/2020/6445.08>
- 4 Surimbayev, Bauyrzhan et al. Effect of sodium acetate additive on gold leaching with cyanide solution: Laboratory and semi-pilot leaching tests // *Heliyon*, Volume 10, Issue 15, 2024, e35805, ISSN 2405-8440, <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e35805>.
- 5 Surimbayev, B., Yessengarayev, Y., Khumarbekuly, Y. et al. Influence of Hydrogen Peroxide and Sodium Acetate on Gold Cyanidation: Laboratory and Pilot-Scale Tests. *Mining // Metallurgy & Exploration* (2026). <https://doi.org/10.1007/s42461-025-01460-5>

УДК 622.7:553.43

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ И ВЕЩЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ ОКИСЛЕННОЙ МЕДНОЙ РУДЫ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ХАДЖИКОНГАН

Шайке Ж.А., Каткеева Г.Л.

*Филиал РГП «НЦ КППМС РК» «ХМИ им. Ж. Абишева», г. Караганда, Казахстан*

Окисленная медная руда месторождения Хаджиконган относится к числу технологически сложных, что определяется особенностями её вещественного состава и физико-механических характеристик. Среднее содержание меди в исходной пробе составляет 1,83 %, серебра – 13,7 г/т. При этом подавляющая часть меди (87,34 %) находится в окисленных формах и представлена в основном малахитом (51,77 %) и хризоколлой (35,57 %). Доля сульфидных минералов меди не превышает 12,66 %, что позволяет уверенно отнести руду к окисленному типу [1-3].

Минеральный состав руды определяется преобладанием полевых шпатов, кварца и слюдино-хлоритовых ассоциаций. Существенной технологической особенностью является присутствие легкошламуемых минералов – хлорита, слюд и кальцита – суммарным содержанием до 18,6 %. Их наличие способствует интенсивному образованию тонких фракций в процессе рудоподготовки и оказывает отрицательное влияние на показатели обогащения [2, 4].

По данным минералогических исследований установлено, что малахит является основным рудным минералом меди. Он представлен преимущественно прожилковыми и натёчными образованиями, приуроченными к трещинам, порам и пустотам породы, а также тонкодисперсными ассоциациями с гидроокислами железа. Хризоколла встречается в тесной взаимосвязи с малахитом и соединениями железа, нередко пигментируя порообразующие минералы в характерные зеленоватые оттенки («медная зелень»). Такая форма нахождения меди свидетельствует о сложном характере раскрытия рудных минералов при измельчении [3, 5].

Результаты ситового анализа показывают, что свыше 85 % материала сосредоточено в классах крупности  $-2+0,2$  мм. Одновременно с уменьшением крупности наблюдается устойчивый рост содержания меди и серебра, достигающий максимальных значений в шламовом классе  $-0,045$  мм. Концентрация окисленных форм меди в тонких фракциях указывает на выраженную склонность руды к шламообразованию и необходимость ограничения переизмельчения при подготовке руды к обогащению [4].

По физико-механическим свойствам руда характеризуется как твёрдая и крепкая: рабочие индексы Бонда для стержневого и шарового измельчения составляют 17,6 и 20,7 кВт·ч/т соответственно, коэффициент крепости по шкале М.М. Протодьяконова равен 8,84. При этом низкая абразивность и высокая пористость руды должны учитываться при выборе оборудования и оптимизации технологических режимов переработки [6].

В целом, окисленная медная руда месторождения Хаджиконган характеризуется высокой долей окисленных и труднообогатимых форм меди, что является одной из ключевых технологических особенностей данного месторождения. Основные рудные минералы – малахит и хризоколла – находятся в тесной ассоциации с гидроокислами железа, формируя сложные минералогические комплексы, при этом хризоколла часто окрашивает порообразующие минералы в характерные зеленоватые оттенки, что ещё раз подтверждает высокую неоднородность распределения меди в руде. Такие минералогические особенности существенно затрудняют процессы рудоподготовки и обогащения, поскольку требуют дополнительного раскрытия рудных минералов и увеличения времени взаимодействия с обогатительными реагентами.

Низкая флотационная активность окисленных минералов, особенно хризоколлы, а также активная адсорбция реагентов гидроокислами железа приводят к снижению селективности флотационных процессов и увеличению потерь меди в хвостах обогащения.

Дополнительно руду характеризует высокая склонность к шламообразованию, особенно при измельчении до тонких классов  $-0,045$  мм. Из-за этих факторов переизмельчение руды может оказаться контрпродуктивным, поскольку ведёт к увеличению выхода тонких шламовых фракций, ухудшению аэрации пульпы и снижению эффективности флотации. Вместе с тем твёрдая и крепкая структура руды, высокая пористость и относительно низкая абразивность создают предпосылки для применения энергоэффективного оборудования и оптимизации режимов измельчения, что позволяет минимизировать потери ценных компонентов при подготовке к обогащению.

Все перечисленные минералого-технологические и физико-механические особенности окисленной медной руды месторождения Хаджиконган определяют её низкую обогатимость стандартными методами и подчёркивают необходимость разработки адаптированных технологических схем переработки. Такие схемы должны учитывать как характер распределения меди в рудных минералах, так и склонность руды к шламообразованию, а также особенности флотационной активности и адсорбционной способности минеральных комплексов. [1-6].

#### **Источники**

- 1 Абрамов А.А. Флотационные методы обогащения полезных ископаемых. – М.: Недра, 1984.
- 2 Чантурия В.А. Теория и практика обогащения окисленных руд. – М.: Недра, 1990.
- 3 Лебедев В.И., Козлов А.П. Технология переработки медных руд. – М.: Горная книга, 2007.
- 4 Вайсберг Л.А. Дробление и измельчение полезных ископаемых. – М.: Недра, 1986.
- 5 Ramdohr P. The Ore Minerals and Their Intergrowths. – Oxford: Pergamon Press, 1980.
- 6 Bond F.C. Crushing and Grinding Calculations. – Allis-Chalmers, 1961.

УДК 669.24:66.061.34

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ КИНЕТИЧЕСКИХ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ НИКЕЛЯ ИЗ ОКИСЛЕННЫХ НИКЕЛЬСОДЕРЖАЩИХ МАГНЕЗИАЛЬНЫХ РУД

Шаяхметова Р.А., Мухаметжанова А.А., Қали А.Ә., Қуандықова А.Н., Сахова Б.Т.

*РГП «НЦ КПМС РК», г. Алматы, Казахстан*

Никелевые руды, локализованные в недрах Казахстана, характеризуются специфическим составом и представлены в основном латеритными месторождениями. В условиях истощения запасов сульфидных никелевых руд и увеличения доли труднообогатимых окисленных никельсодержащих магнезиальных руд актуальной задачей является разработка и научное обоснование эффективных гидрометаллургических методов их переработки. Существенную роль при этом играет изучение кинетических закономерностей кислотного выщелачивания, позволяющее установить лимитирующие стадии процесса и определить пути его интенсификации.

Целью данного исследования является изучение кинетических закономерностей растворения никеля при серноокислотном выщелачивании латеритных руд Казахстана, а именно Белогорского месторождения.

В работе проведено исследования выщелачивания образцов окисленной никельсодержащей магнезиальной руды в зависимости от: концентрации серной кислоты в интервале, 10-50%, скорости перемешивания в интервале 100 - 500 об/мин, соотношения Т: Ж, температуры в интервале 20-90 °С, времени выщелачивания 30- 240 минут.

Установлены оптимальные технологические параметры процесса выщелачивания: концентрация серной кислоты 20%, температура 85-90 °С, соотношение твердого и жидкого состояний 1:4, скорость перемешивания 400 об/мин и времени выщелачивания 180 минут, - позволяющие извлечь из окисленных руд никель на 82-85% и на 92-93% магний.

Анализ кинетики помогает определить факторы, определяющие процесс выщелачивания. Путем изучения скоростей реакций исследователи могут определить, ограничен ли процесс реакцией передачи выщелачивающего агента на поверхность твердого материала (управляемый диффузией) или кинетикой реакции на границе между твердой и жидкой фазами (управляемый кинетикой). Это знание критично для эффективного контроля скорости выщелачивания и оптимизации различных этапов процесса [1].

Для описания кинетики процессов выщелачивания была применена наиболее часто используемая для этих целей модель сжимающегося ядра [1-3]. Уравнения, описывающие стадии, контролируемые диффузией (1) и химической реакцией (2), можно выразить следующим образом [4]:

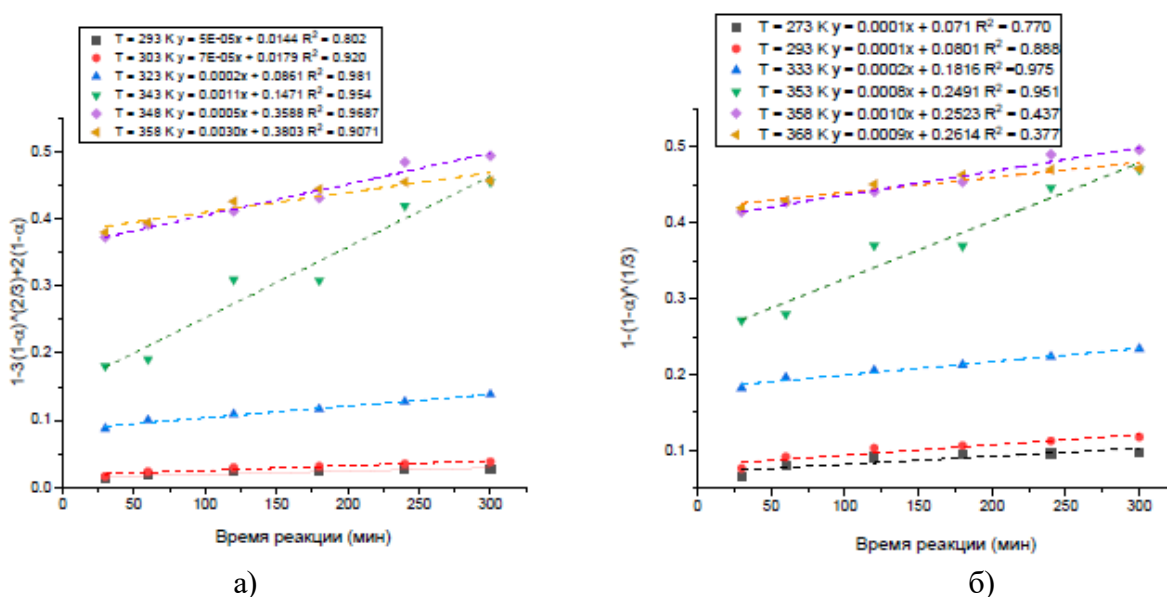
$$1 - 3(1 - \alpha)^{\frac{2}{3}} + 2(1 - \alpha) = kat, \quad (1)$$

$$\left[1 - (1 - \alpha)^{1/3}\right] = \frac{kM_b D C_A}{\rho_B a r_0^2} t = k_r t, \quad (2)$$

где  $\alpha$  – часть прореагировавшего вещества,  $k$  – кинетическая константа,  $M_b$  – молекулярная масса,  $C_A$  – концентрация кислоты,  $a$  – стехиометрический коэффициент реагента в реакции,  $r_0$  – начальный радиус частицы,  $t$  – время реакции,  $\rho_B$  – плотность твердого тела,  $D$  – коэффициент диффузии в пористых слоях продукта,  $k_d$ , и  $k_r$  –

константы скорости диффузии и химической реакции, соответственно, которые вычисляются из уравнений (1) и (2).

Результаты расчетов по экспериментальным данным для построения графиков по уравнениям (1) и (2) модели сжимающегося ядра представлены на рисунке 1.



**Рисунок 1 – График линейной аппроксимации кинетики выщелачивания никеля в рамках модели сжимающегося ядра во времени при различных температурах: (а) модель диффузии, (б) модель химической реакции (концентрация кислоты 20%, Т:Ж= 1:4, 400 об/мин, размер фракции –2+1 мм)**

Существует хорошая корреляция между экспериментальными данными и уравнением (1), что указывает на то, что кинетику выщелачивания можно описать моделью сжимающегося ядра с контролем диффузией через слой твердого продукта [5], [6].

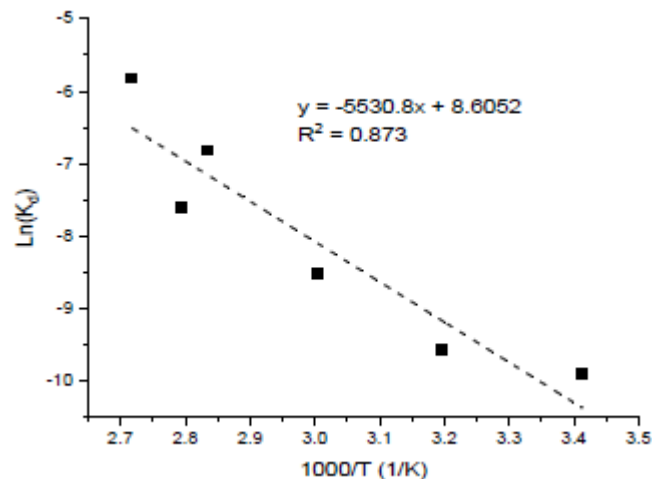
В таблице 1 представлены кажущиеся константы скорости выщелачивания, определенные согласно уравнению (1).

**Таблица 1 – Кажущиеся константы скорости, полученные из углов наклона прямых, построенных по уравнению (1)**

T, °C	20	40	60	80	85	95
K <sub>d</sub> , л/г·мин	5 · 10 <sup>-5</sup>	7 · 10 <sup>-5</sup>	0,0002	0,0011	0,0005	0,003

Наблюдается, что с увеличением температуры также возрастает скорость процесса, что свидетельствует о том, что реакция контролируется диффузией.

График уравнения Аррениуса (рисунок 2), построенный на основе констант скорости, полученных из углов наклона линейных уравнений на рисунке 1а, показывает зависимость между  $\ln K_d$  и  $1000/T$ , позволяя рассчитать энергию активации, которая составила 46,2 кДж/моль. Относительно низкие значения  $E_a$  предполагают, что диффузия, вероятно, контролирует скорость реакции. Кроме того, чувствительность эффективности выщелачивания от температуры (таблица) подтверждает, что скорость диффузии увеличивается с температурой. Полученные данные исследований о повышении извлечения никеля с увеличением скорости перемешивания также свидетельствуют, что этот процесс улучшает диффузию ионов  $H^+$  к частицам руды.



**Рисунок 2 – График Аррениуса для процесса выщелачивания (концентрация  $\text{H}_2\text{SO}_4$  20%, Т: Ж=1:4, 400 об/мин, размер фракции –2+1 мм**

В результате исследований установлено, что кислотное выщелачивание окисленных никельсодержащих магнезиальных руд протекает по диффузионному механизму с энергией активации 46,2 кДж/моль.

*Данное исследование проведено в рамках программы (BR-23991563) «Создание инновационных ресурсосберегающих технологий добычи и комплексной переработки минерального и техногенного сырья», финансируемой Комитетом промышленности Министерства промышленности и строительства Республики Казахстан.*

### Источники

- 1 Shayakhmetova, R., Mukhametzhanova, A., Osipov, P. et al. Mechanism, kinetics and thermodynamics of nickel, iron, and magnesium hydrochloric acid leaching from laterite ore. *Sci Rep* 15, 41342 (2025). <https://doi.org/10.1038/s41598-025-25276-x>.
- 2 Мамырбайева, К. К., Куандыкова, А. Н., Чепуштанова, Т. А. & Меркибайев, Y. S. Review of technology for hydrometallurgical processing of lateritic nickel ores over the past 20 years in the world. *Non Ferr. Met.* 13–21; <https://doi.org/10.17580/nfm.2024.01.03> (2024)
- 3 Faraji, Fariborz, Alizadeh, Amirhossein, Rashchi, Fereshteh and Mostoufi, Navid. "Kinetics of leaching: a review" *Reviews in Chemical Engineering*, vol. 38, no. 2, 2022, pp. 113-148. <https://doi.org/10.1515/revce-2019-0073>
- 4 Xiong, X. et al. Hydrometallurgical process and recovery of valuable elements for limonitic laterite: a review. *Chin. J. Chem. Eng.* 73, 189–201 (2024)
- 5 Alonso, E. et al. World Minerals Outlook—Cobalt, Gallium, Helium, Lithium, Magnesium, Palladium, Platinum, and Titanium through 2029. *Scientific Investigations Report* (US Geological Survey, 2025)
- 6 Dong, B. et al. The effect of pre-roasting on atmospheric sulfuric acid leaching of saprolitic laterites. *Hydrometallurgy* 218, 106063 (2023).
- 7 Pandey, N., Tripathy, S. K., Patra, S. K. & Jha, G. Recent progress in hydrometallurgical processing of nickel lateritic ore. *Trans. Indian Inst. Met.* 76, 11–30 (2023).

УДК 669.24:622.7

## ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА ВСКРЫТИЯ ОКИСЛЕННЫХ НИКЕЛЬСОДЕРЖАЩИХ МАГНЕЗИАЛЬНЫХ РУД

Шаяхметова Р.А., Сагындыков А.Б., Осипов П.А., Кали А.Ә.

*РГП «НЦ КПМС РК», г. Алматы, Казахстан*

Для изучения влияния выбранных факторов на процесс выщелачивания окисленной магнезиально-железистой никелевой руды Белогорского месторождения, а также для определения оптимальных параметров процесса, был использован метод трехфакторного экспериментального планирования. Эксперимент проводился на основе центрального композиционного ротатабельного плана второго порядка. В качестве независимых переменных были приняты: расход кислоты ( $X_1$ ), температура процесса выщелачивания ( $X_2$ ) и его продолжительность ( $X_3$ ). В качестве отклика системы рассматривалось извлечение никеля в раствор ( $Y_1$ ). На начальном этапе была сформирована матрица полного факторного эксперимента и выполнен комплекс соответствующих лабораторных испытаний [1].

Путем сопоставления экспериментальных и расчетных значений результирующего показателя  $Y$  был определен коэффициент детерминации, изменяющийся в диапазоне от 0 до 1. Значение, равное 1, свидетельствует о полном совпадении фактических и прогнозных данных, тогда как значение 0 указывает на невозможность применения регрессионной модели для описания процесса. В рассматриваемом случае коэффициент детерминации  $R^2_1$  составил 0,54, что в программной среде Excel считается статистически значимым. Это позволяет сделать вывод о заметном влиянии расхода кислоты на извлечение никеля: порядка 60,4 % изменений данного показателя обусловлено именно изменением расхода кислоты [2].

Дополнительно был рассчитан коэффициент корреляции  $r_1$ , равный  $\sqrt{R^2_1} = 0,74$ , что свидетельствует о тесной связи между рассматриваемыми величинами. Для оценки статистической значимости полученной зависимости использовалась F-критерий Фишера. При уровне значимости  $\alpha = 0,05$  и числе степеней свободы  $d = 6$  табличное значение F равно 2,85. Расчетное значение F в данном случае составило 7,08, что превышает критическое значение, подтверждая обоснованность использования регрессионного уравнения для прогнозирования процесса выщелачивания.

Полученное уравнение линейной регрессии имеет вид:  $\varepsilon Ni = 1,98 + 18,29 \cdot X_1$ .

Степень влияния фактора на результат оценивалась с использованием среднего коэффициента эластичности. Согласно расчетам, увеличение расхода кислоты на 1 % относительно среднего значения приводит к росту извлечения никеля в раствор в среднем на 0,94 %.

Для температурного фактора коэффициент детерминации  $R^2_2$  составил 0,15, что означает, что около 15,0 % вариаций извлечения никеля объясняется изменением температуры выщелачивания. Соответствующий коэффициент корреляции  $r_2 = \sqrt{R^2_2} = 0,34$  указывает на наличие связи между параметрами, однако она выражена слабее. Уравнение регрессии для данного фактора имеет вид:  $\varepsilon Ni = 18,29 + 0,23 \cdot X_2$ .

Средний коэффициент эластичности рассчитывался по выражению:

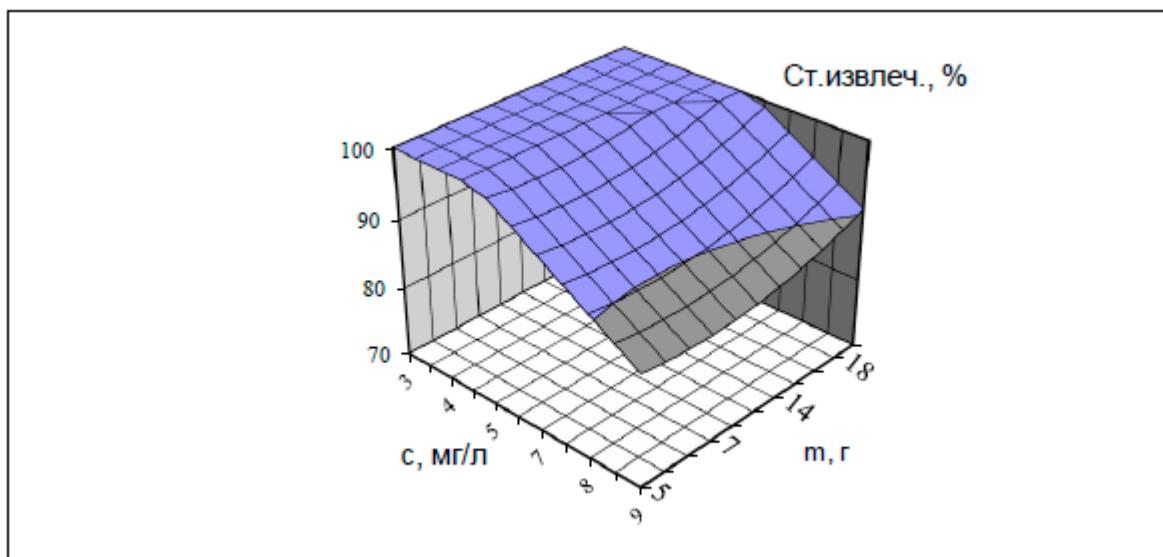
$$\varepsilon_2 = 0,23 \cdot X_{2cp} / \varepsilon Nicp = 0,42,$$

что свидетельствует о менее выраженном влиянии температуры по сравнению с расходом кислоты.

По результатам статистического анализа установлено, что совокупное влияние трех выбранных факторов – расхода кислоты, температуры и продолжительности процесса – определяет 90,5 % общей вариации извлечения никеля в раствор. Оставшиеся 12,5 % объясняются действием иных, неучтенных факторов. Это подтверждает корректность выбора основных варьируемых параметров. Наиболее значимыми среди них оказались расход кислоты и продолжительность выщелачивания. Температурный фактор оказывает меньший эффект, что согласуется с ранее выполненными термодинамическими расчетами: для экзотермических реакций повышение температуры приводит к смещению равновесия в сторону обратного процесса.

Поскольку полный факторный эксперимент позволяет исследовать лишь крайние уровни факторов (–1 и +1), была дополнительно составлена матрица экспериментов в центре плана и выполнены соответствующие опыты. Для обработки и графического представления результатов применялся статистический пакет Excel. В результате была построена поверхность отклика, отражающая зависимость извлечения никеля от расхода кислоты ( $v$ ) и температуры ( $T$ ) при фиксированной продолжительности процесса 4 часа (рисунок 1). Для данной поверхности получено следующее уравнение:

$$\varepsilon Ni = 17,55 - 74,73 \cdot T + 0,93 \cdot v + 58 \cdot T^2 + 0,04 \cdot T \cdot v - 0,01 \cdot v^2.$$



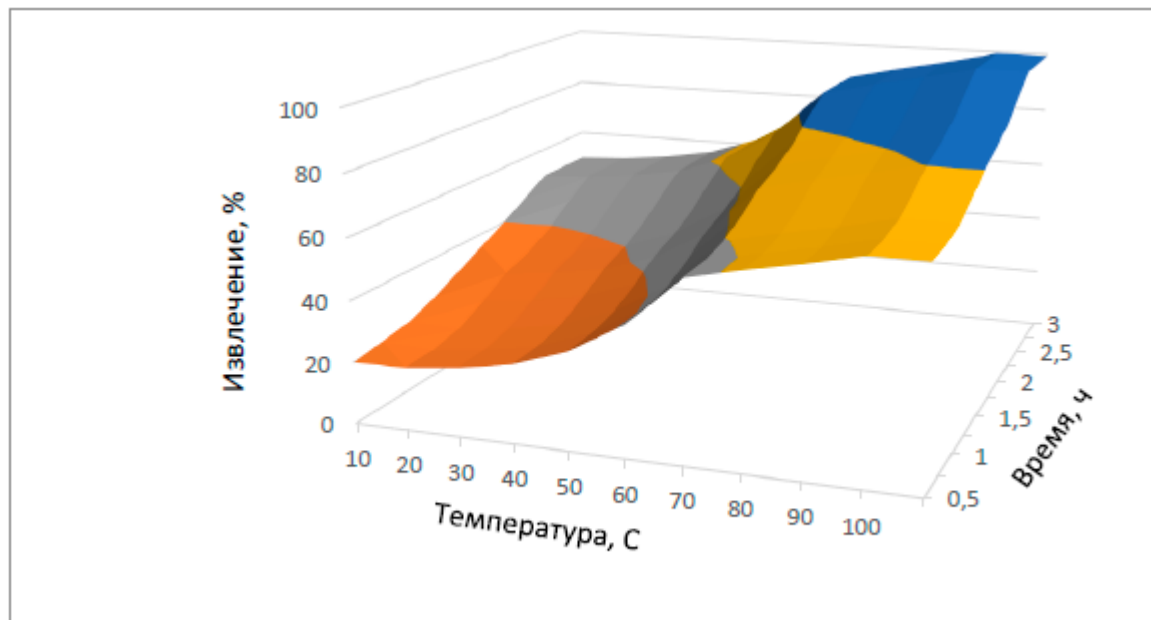
**Рисунок 1 – Зависимость извлечения никеля в раствор от расхода кислоты при температуре процесса 90 °С**

Адекватность данного уравнения была проверена по коэффициенту детерминации, значение которого составило 91 %, что свидетельствует о хорошем соответствии модели экспериментальным данным [3-4].

Анализ поверхностей отклика показал, что увеличение расхода кислоты и температуры способствует росту извлечения никеля. Область максимальных значений извлечения (более 80 %) соответствует высоким значениям температуры и кислотности. При этом снижение температуры оказывает менее выраженное влияние на процесс, чем уменьшение расхода кислоты. Данные результаты согласуются с термодинамическими оценками и статистическим анализом, подтверждая доминирующую роль расхода кислоты, что наглядно отражено на поверхности, представленной на рисунке 1.

Аналогичным образом была построена поверхность отклика, характеризующая зависимость извлечения никеля в раствор от температуры процесса и продолжительности выщелачивания при постоянном расходе кислоты. Полученная

зависимость наглядно иллюстрирует влияние указанных факторов на эффективность процесса выщелачивания (рисунок 2). Анализ поверхности показал, что увеличение продолжительности выщелачивания способствует росту извлечения никеля, особенно при повышенных температурах. При этом влияние температуры выражено менее существенно по сравнению с фактором времени, что согласуется с результатами статистического анализа и термодинамическими расчетами.



**Рисунок 2 – Зависимость извлечения никеля в раствор от температуры и времени выщелачивания**

Для фактора продолжительности процесса коэффициент детерминации  $R^2_3$  равен 0,1842, что означает, что 18,42 % вариаций извлечения никеля обусловлены изменением времени выщелачивания. Коэффициент корреляции  $r_3 = \sqrt{R^2_3} = 0,43$  указывает на умеренную зависимость между параметрами. Уравнение регрессии имеет вид:

$$\varepsilon Ni = 17,71 + 6,79 \cdot X_3.$$

Средний коэффициент эластичности  $\varepsilon_3 = 6,79 \cdot X_{3cp} / \varepsilon Ni_{cp} = 0,49$  показывает, что увеличение продолжительности выщелачивания на 1 % от среднего значения приводит к изменению извлечения никеля примерно на 0,5 %.

В целом проведенный анализ подтвердил, что три ключевых параметра - расход кислоты, температура и продолжительность процесса – совместно объясняют 90,5 % вариации извлечения никеля в раствор, а оставшаяся доля связана с влиянием других факторов. Наиболее значимыми из исследованных параметров являются расход кислоты и продолжительность выщелачивания, тогда как температурный фактор играет второстепенную роль, что соответствует теоретическим термодинамическим положениям [5].

На основании анализа поверхностей отклика установлено, что максимальные значения извлечения никеля достигаются при высоких значениях температуры и кислотности. При этом уменьшение температуры оказывает меньшее негативное воздействие на процесс, чем снижение расхода кислоты. Полученные данные полностью согласуются с результатами статистического анализа и наглядно демонстрируют определяющее влияние расхода кислоты на извлечение никеля, что отражено на рисунке 2.

Таким образом, выполненные исследования по оптимизации условий прямого серноокислотного выщелачивания окисленных никелевых руд позволили определить оптимальные параметры процесса, обеспечивающие максимальное извлечение никеля в раствор: расход кислоты 1,0 г/г руды (20 %  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , Т:Ж = 1:4), температура 90 °С и продолжительность выщелачивания 3 часа. Указанные условия могут быть рекомендованы для практического применения.

Данное исследование проведено в рамках программы (BR-23991563) «Создание инновационных ресурсосберегающих технологий добычи и комплексной переработки минерального и техногенного сырья», финансируемой Комитетом промышленности Министерства промышленности и строительства Республики Казахстан.

### **Источники**

- 1 Habashi F. Kinetics of leaching of nickel oxide in sulfuric acid solutions // *International Journal of Mineral Processing*. – 2005. – Vol. 77, No. 1. – P. 1-7.
- 2 Baba A. A., Adekola F. A., Bale R. B. Kinetic study of sulfuric acid leaching of nickel laterite ore // *Hydrometallurgy*. – 2011. – Vol. 109, No. 3–4. – P. 187-191.
- 3 Li J., Liu Z., Li Q. Effect of temperature and leaching time on nickel extraction from laterite ores // *Hydrometallurgy*. – 2022. – Vol. 214. – Article 105942.
- 4 Montgomery D.C. Response surface methodology in chemical process optimization // *Journal of Cleaner Production*. – 2017. – Vol. 142. – P. 372-384.
- 5 Zhao Y., Wang S., Chen Y. Optimization of acid leaching parameters for nickel recovery using response surface methodology // *Chemical Engineering Journal*. – 2020. – Vol. 388. – Article 124214.

УДК 622.765

## КОМПЛЕКСНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОСТАТКОВ ДИСТИЛЛЯЦИИ ВОЗГОНОВ ОТ ЭЛЕКТРОПЛАВКИ ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКОГО СЫРЬЯ ДЛЯ ИЗВЛЕЧЕНИЯ МАГНИЯ И СВИНЦА

Шаяхметова Р.А., Сахова Б.Т., Мухаметжанова А.А., Акильбекова Ш.К., Шварук А.В.

*РГП «НЦ КПМС РК», г. Алматы, Казахстан*

В настоящее время пирометаллургическим способом получают около 15% цинка, который заключается в дистилляции цинка из цинксодержащих материалов. В основе этого способа лежит процесс восстановления оксида цинка при температуре выше точки кипения цинка [1, 2]. Это обеспечивает его выделение в процессе восстановления в газообразном состоянии, возгонку в виде паров с последующей конденсацией.

Истощение существующих богатых легковскрываемых месторождений подталкивают исследователей-металлургов к разработке новых технологий, позволяющих перерабатывать труднообогатимое, низкокачественное техногенное сырье. В частности, в РГП «НЦ КПМС РК» разработана технология по которой труднообогатимое полиметаллическое сырье месторождения Шалкия подвергается процессу электроплавки с получением ферросилиция [3-5]. При этом образуются возгоны, в которых концентрируется цинк и свинец. Во всех процессах выплавки, несмотря на разновидность шихты, и получаемого ферросплава, наблюдается восстановление цинка и свинца до металлического состояния, которые улетучиваются в газовую фазу, где происходит окисление цинка и осаждение их в рукавных фильтрах в виде оксида цинка и металлического свинца. В процессе дистилляции возгонов образуется цинковый конденсат и остаток [6].

Цель работы – разработка технологии извлечения ценных компонентов из остатка от дистилляции возгонов электроплавки полиметаллического сырья с получением товарного сульфата магния и свинца марки ТОСС.

Проведенные исследования показали, что остатки, образующиеся после дистилляции возгонов электроплавки полиметаллического сырья, представляют собой продукты сложного минерального состава, основу которых составляют оксиды кремния, а также присутствуют соединения щелочных и щелочноземельных металлов, свинца и железа. Согласно элементному анализу, материал содержит до 6,3 % магния и до 5,6 % свинца при минимальном содержании цинка, что указывает на его переход в летучие продукты дистилляции. Морфологические исследования методом СЭМ выявили пористую структуру с неоднородными включениями, характерную для процессов фазообразования при высоких температурах. Энергодисперсионный анализ подтвердил наличие в составе оксидов кремния, магния и свинца, формирующих фазы, потенциально доступные для гидрометаллургической переработки. После установления состава и морфологии остатков были проведены исследования по их серноокислотному выщелачиванию.

Для изучения процесса выщелачивания использовались усредненные образцы остатков от дистилляции возгонов электроплавки полиметаллического сырья, содержащие до 6,25 % магния и 5,54 % свинца. В качестве выщелачивающего реагента применяли серную кислоту концентрацией 20–30 %, при варьировании соотношения твердой и жидкой фаз ( $T:Ж = 1:3-1:5$ ), температуры (60-90 °С) и продолжительности выдержки (120-240 мин).

Анализ экспериментальных данных показал, что повышение концентрации  $H_2SO_4$  до 25-30 % и увеличение соотношения  $T:Ж$  до 1:4-1:5 обеспечивает наиболее полное извлечение магния (до 78,9 %) и железа (до 63,3 %), тогда как свинец практически

не переходит в раствор (менее 2 %) из-за низкой растворимости его соединений в сернокислой среде. Оптимальными условиями процесса являются: концентрация  $\text{H}_2\text{SO}_4$  – 25 %, Т:Ж – 1:4-1:5, температура – 90 °С, продолжительность – 180 мин. При этих параметрах достигается максимальное извлечение целевых компонентов при минимальных потерях свинца (таблица 1).

**Таблица 1 – Оптимальные параметры выщелачивания остатков дистилляции**

Показатель	Оптимальное значение	Извлечение, %		
		Mg	Fe	Pb
Концентрация $\text{H}_2\text{SO}_4$ , %	25	78,9	63,3	< 2
Соотношение Т:Ж	1:4 - 1:5	75-79	60-63	< 2
Температура, °С	90	75,6	62,9	1,3
Время, мин	180	79,3	62,3	1,3

Установлено, что остатки от дистилляции обладают высокой реакционной способностью по отношению к сернокислому выщелачиванию, обеспечивая извлечение до 79 % магния и 63 % железа, что делает данный материал перспективным источником для получения магнийсодержащего продукта при минимальных потерях свинца. Полученные результаты по выщелачиванию послужили основой для разработки схемы гидролитической очистки и получения магниевых соединений.

Дальнейшие исследования были направлены на переработку продуктивного раствора, полученного после выщелачивания остатков дистилляции. На первом этапе проводили гидролитическую очистку от ионов железа при рН 4,0-4,4, предварительно окисляя  $\text{Fe}^{2+}$  до  $\text{Fe}^{3+}$  перекисью водорода. Осаждение  $\text{Fe}^{3+}$  осуществлялось при температуре 85-90 °С с добавлением  $\text{MgO}$  (14-20 г/л) до достижения требуемой кислотности. Для улучшения фильтрации в пульпу вводили 0,05 % раствор коагулянта Praestol 2500 (0,01 % от массы сырья). Полученный осадок буро-коричневого цвета представлял собой гидрат оксидов железа, а очищенный фильтрат направлялся на упаривание и кристаллизацию магниевых соединений.

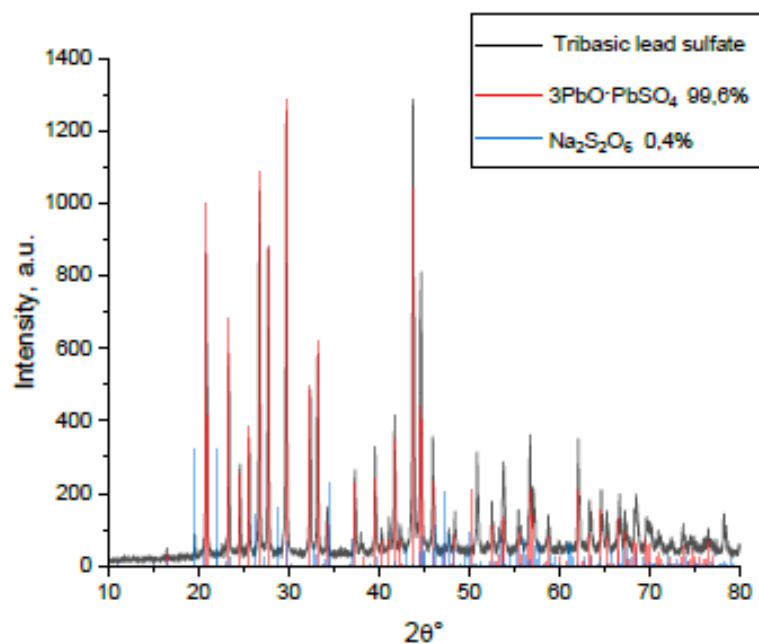
Кристаллизация сульфата магния проводилась при температуре 110 °С до достижения плотности раствора 1,128 г/см<sup>3</sup>, после чего осадок  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  охлаждали и сушили при 105 °С. Полученный белый крупнокристаллический порошок содержал 16,0 %  $\text{MgO}$ , что соответствует требованиям ТУ 2141-001-23877036-2015 на  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ .

Одной из задач исследования являлось получение соединения свинца марки ТОСС ( $3\text{PbO} \cdot \text{PbSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) из продуктов переработки полиметаллического сырья, в частности из кеков, образующихся после сернокислотного выщелачивания остатков дистилляции возгонов.

Трехосновной сульфат свинца (ТОСС) – это основная соль свинца с формулой  $3\text{PbO} \cdot \text{PbSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ . Он представляет собой соединение, содержащее ионы свинца ( $\text{Pb}^{2+}$ ), гидроксид-анионы ( $\text{OH}^-$ ) и сульфат-анионы ( $\text{SO}_4^{2-}$ ). Это вещество может образовываться в виде белого осадка и известно, как одна из форм коррозионных продуктов свинца, особенно в щелочной или слабо кислой среде.

Исходный Pb-содержащий материал содержал 9,6 % свинца и 0,7 % железа. Для извлечения свинца из кеков определены оптимальные условия выщелачивания азотной кислотой: концентрация кислоты 10%, соотношении твердой и жидкой фаз 1:2, температура 60 °С и продолжительность 2 ч. При таких условиях достигнута высокая степень извлечения металлов: 95,5 % для Pb и 92,6 % для Fe. Из полученного раствора  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$  осаждали малорастворимый сульфат свинца (II) добавлением раствора  $\text{Na}_2\text{SO}_4$

(80 г/л). Полученный сульфат свинца (II) распульповывали в воде при соотношении Т:Ж = 1:3, затем в непрерывном режиме в пульпу  $PbSO_4$  вводили раствор 120 г/л NaOH до заданного значения pH 10-10,5 с получением  $3PbO \cdot PbSO_4 \cdot 2H_2O$  с содержанием свинца до 83,5 %.



**Рисунок 1 – Рентгенофазовый анализ трехосновного сульфата свинца**

Рентгенофазовый анализ подтвердил фазовую чистоту и соответствие продукта соединению  $3PbO \cdot PbSO_4 \cdot 2H_2O$  (рисунок) согласно требованиям ТУ 2492-004-10269039-05. В результате исследований установлено, что остатки дистилляции возгонов электроплавки полиметаллического сырья характеризуются повышенным содержанием магния и свинца и могут служить источником вторичных цветных металлов. Оптимальные условия сернокислотного выщелачивания обеспечивают эффективное извлечение магния и получение товарных соединений  $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ . Pb-содержащие кеки, образующиеся после сернокислотного выщелачивания, использованы для синтеза трёхосновного сульфата свинца  $3PbO \cdot PbSO_4 \cdot 2H_2O$ , обладающего высокой фазовой чистотой. Таким образом, разработанная схема переработки остатков дистилляции возгонов обеспечивает комплексное использование сырья и получение двух товарных продуктов – магнийсодержащего соединения и свинца марки ТОСС.

### Источники

- 1 Романтеев Ю. П., Быстров В. П. *Металлургия тяжёлых цветных металлов. Свинец. Цинк. Кадмий.* – Москва: Издательский дом МИСиС, 2010. – 574 с.
- 2 Park H., Kim J., Sohn I. Utilization of hydrogen in metallurgical processes for decarbonization // *Journal of Cleaner Production.* – 2021. – Vol. 293. – P. 126-157.
- 3 Makhanbetova B., Shevko V., Aitkulov D. Producing A Ferroalloy And Zinc Concentrate From The Shalkiya Deposit Sulfide And Oxidized Ores' Mixture, *Journal of Applied Science and Engineering (Taiwan)*, 2024, 28(1), pp. 175-182, (Проц. по Scopus – 69%), [https://doi.org/10.6180/jase.202501\\_28\(1\).0017](https://doi.org/10.6180/jase.202501_28(1).0017).
- 4 Шевко В.М., Айткулов Д.К., Маханбетова Б.А. Укрупнено-лабораторные испытания электроплавки хвостов обогащения руды месторождения Шалкия с получением

- ферросилиция и Zn-Pb возгонов // Сборник трудов LXXXIV МНПК "Вопросы технических и физико-математических наук в свете современных исследований". - Новосибирск: СибАК, 2025. - № 2(75). – С. 55-65.
- 5 Shevko V., Makhambetova B., Aitkulov D., Badikova, A. Optimization of joint electric smelting of the Shalkiya sulfide ore and its beneficiation tailings with medium-silicon ferrosilicon production. *Kompleksnoe Ispolzovanie Mineralnogo Syra = Complex Use of Mineral Resources*, 2024, 334(3), pp. 91–98. <https://doi.org/10.31643/2025/6445.31>.
  - 6 Осипов П.А., Шаяхметова Р.А., Мазулевский Е. А., Мухаметжанова А.А., Сагындыков А.Б., Сахова Б.А. Получение цинка высокой чистоты из возгонов от электроплавки полиметаллического сырья дистилляцией // *Вестник КРСУ*, 2025. -Том 25. - № 4. – С. 71-80. DOI: 10.36979/1694-500X-2025-25-4-71-80.

## **Секция 2**

**Материаловедение:  
физико-химические основы  
и технологии получения  
материалов, сплавов  
и композиционных систем**

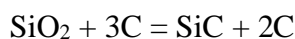
UDC 669.168

## SILICON CARBIDE: A REVIEW OF SYNTHESIS METHODS, PROPERTIES, APPLICATIONS

**Burumbayev A., Sadyk Zh., Makisheva Zh., Temirbayeva E.**

*Zh. Abishev Chemical-Metallurgical Institute, Karaganda, Kazakhstan*

The study of silicon carbide (SiC) began in 1824 with Jacob Berzelius and was subsequently continued in the works of Despretz (1849), Marsden (1880), and Colson (1882). Under natural conditions, SiC is a rare mineral, occurring in small quantities in kimberlite pipes. However, SiC is widely distributed in outer space, and its concentrated particulate forms are frequently found in meteorites. The first SiC crystals were discovered by Henri Moissan during his investigation of meteorites in the canyons of the Arizona desert; in his honor, the mineral was named moissanite. At present, polycrystalline SiC is produced in electric furnaces at temperatures of 1800–2300 °C by the carbothermic reduction of silicon dioxide with carbon:



Silicon carbide (SiC) is considered the only binary compound formed by elements of Group IV of the periodic table. In terms of the type of chemical bonding, it belongs to covalent crystals. Strong chemical bonds determine its high chemical, radiation, thermal, and mechanical stability. The main properties of SiC are presented in Table 1 below.

**Table 1 – Main Properties of SiC**

Melting point	2730 °C
Density	3,21 g / sm <sup>3</sup>
Hardness on the Mohs scale	9-9, 5
Coefficient of thermal expansion	4,0*10 <sup>-6</sup> K
Electrical conductivity	Semiconductor
Band gap	2,36-3,23 эВ
Bond energy	313 kJ/mol

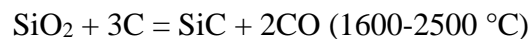
### Synthesis Methods

#### *Acheson Method*

Silicon carbide (SiC) was synthesized in the late nineteenth century almost simultaneously by several researchers, including Schützenberger, Moissan, and Acheson. Among these, the method proposed and patented by Acheson has become the principal technology widely used for the industrial-scale production of SiC [1].

The Acheson method is based on mixing silicon dioxide with low-ash carbonaceous materials and processing the mixture at high temperatures in a specially designed graphite electric furnace. The furnace core is typically composed of coke pieces, through which an electric current is passed via electrodes. During the process, the temperature rises to approximately 2500–2600 °C.

Under the influence of high temperature, a carbothermic reduction reaction occurs between silicon dioxide and carbon, resulting in the formation of silicon carbide and carbon monoxide:



The duration of a single production cycle using this technology is approximately 40 hours. The main drawback of the Acheson method is the relatively high content of foreign and impurity elements in the resulting product. For this reason, although SiC obtained by this method may, in some cases, form single-crystal plates with dimensions reaching 10–15 mm, the presence of a large number of structural defects and impurities significantly limits its application as a semiconductor material [2].

Nevertheless, SiC produced by the Acheson method is widely used in the manufacture of abrasive materials and also serves as a source of the vapor phase during the growth of SiC crystals using the Lely method.

#### *Lely and LETI Methods*

Among sublimation crystal growth technologies, one of the most advanced methods is the Lely method [3]. In 1955, Jan Anthony Lely demonstrated for the first time the possibility of obtaining high-purity, high-quality SiC. This technology enables the formation of flake-like single crystals composed of the hexagonal 6H-SiC polytype on the surface of a cooled substrate.

The Lely method was initially implemented in an argon atmosphere inside a graphite crucible at a temperature of approximately 2500 °C. However, such extreme temperature conditions limited the crystal growth zone and did not allow a significant increase in the size of the obtained SiC crystals. Despite this limitation, crystalline SiC produced by this method made it possible to comprehensively investigate the fundamental physical properties of the material, including its electrical and optical characteristics. The results showed that SiC is a semiconductor with an indirect band gap, a low probability of radiative recombination, and a band gap width that depends on its polytypic structure. Nevertheless, due to the formation of relatively small crystals, the Lely method is considered inefficient for industrial or mass production [4].

This method is based on the sublimation of polycrystalline SiC at temperatures in the range of 2500–2650 °C and its subsequent condensation in a lower-temperature region, leading to crystal growth. Typically, in the technological process, SiC is pre-pressed into a sleeve-shaped form and placed inside a carbon crucible. The temperature of the inner surface of the sleeve is approximately 50–70 °C lower than that of the outer wall. As a result of this temperature gradient, SiC vapor condenses in the cooler region, creating favorable conditions for the formation of randomly oriented single crystals. Crystal growth occurs over a relatively wide temperature interval [5].

#### *Physical Vapor Transport Method*

When applying the Lely method, crystal growth occurs in a random manner, and the inability to precisely control and regulate the growth process leads to the formation of a large number of small-sized crystals. To overcome this limitation, the use of a single-crystal seed to direct crystal growth was proposed, enabling the growth of large single-crystal silicon carbide [6].

This approach was first proposed in 1979 in the works of V. F. Tsvetkov and Yu. M. Tairov and was established as an improved version of the Lely method. Today, this technology is known as the Physical Vapor Transport (PVT) method. The principle of the method involves growing crystals by condensing saturated SiC vapor, formed as a result of sublimation, onto the surface of a pre-prepared single-crystal seed.

Polycrystalline SiC (source material) is located in the high-temperature zone, typically within the range of 1800–2600 °C. The vapor phase is transported to the surface of the single-crystal seed located in a relatively lower-temperature zone, where crystallization occurs under supersaturated conditions. In this way, the crystal size can be gradually increased by repeating multilayer growth cycles.

### *Self-Propagating High-Temperature Synthesis (SHS) and Volume Combustion Synthesis (VCS) Methods*

Among solid-phase reduction technologies for producing SiC, self-propagating high-temperature synthesis (SHS) and volume combustion synthesis (VCS) methods are widely used. In both cases, the initial reactant mixture is prepared in the form of a pre-shaped compact.

In the SHS method, the combustion reaction is initially ignited in a localized region of the reactant mixture and then spontaneously propagates through the remaining volume of the compact due to the heat released during the reaction. This process is characterized by a high exothermic effect and requires minimal external energy input.

In contrast, in the volume combustion synthesis (VCS) method, the entire compact is uniformly heated prior to reaction initiation, resulting in a simultaneous chemical transformation throughout the entire volume of the material. This approach is typically employed when the amount of heat released during the exothermic reaction is relatively low, whereas for highly exothermic systems, the SHS method is considered more efficient [7].

#### Applications of Silicon Carbide (SiC)

Silicon carbide (SiC) is a multifunctional material characterized by high hardness, thermal stability, chemical inertness, and a wide range of electrical properties. The combination of these characteristics enables its widespread use across various industrial sectors [8].

First and foremost, SiC is widely used as an abrasive material. Due to its high hardness on the Mohs scale, SiC-based abrasives are employed in the processing, grinding, and cutting of metals, ceramics, and composite materials [9].

The high melting point and oxidation resistance of SiC allow its application as a refractory and structural material. SiC-based components are extensively used in metallurgical furnaces, high-temperature reactors, heat exchangers, and elements operating in aggressive environments [10].

SiC is also of particular importance as a semiconductor material. Its wide band gap, high breakdown electric field strength, and high thermal conductivity make SiC suitable for the development of high-power, high-temperature, and high-frequency electronic devices. Consequently, it is considered a promising material for power electronics, radio engineering, and optoelectronics [11].

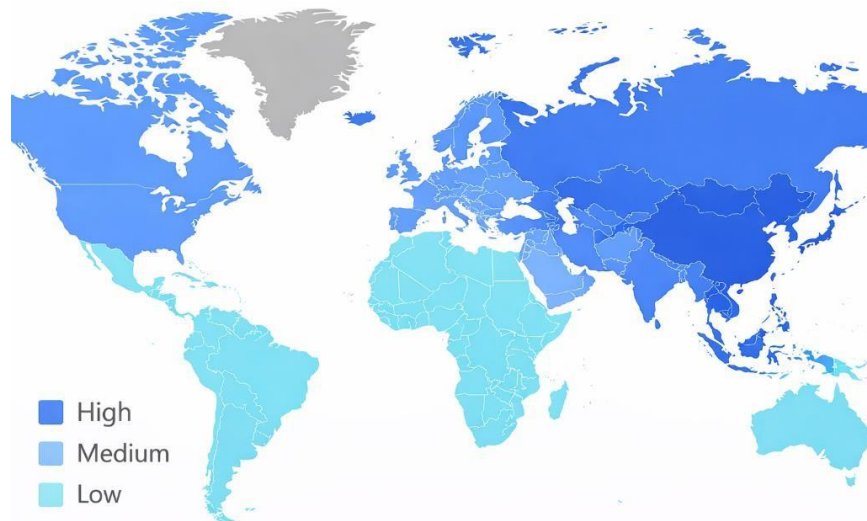
In addition, owing to its high mechanical strength and wear resistance, SiC is used in the production of protective coatings, armored components, and parts employed in friction units. In the biomedical field, its biocompatibility is being actively investigated, and the potential for its application in implants and sensor devices is under consideration.

Taking the above factors into account, the SiC market is expected to maintain a high growth rate during the forecast period. The dominant countries and regions in SiC production are shown in Figure 1.

During the forecast period, the Asia-Pacific region is expected to hold a leading position in the SiC market. In countries such as China, India, and Japan, the growing demand for advanced and upgraded technologies across various industries-including electronics, automotive manufacturing, and the defense sector-is driving increased consumption of silicon carbide.

This region also dominates the semiconductor market, a position further reinforced by government support measures. Owing to state policies and strategic development programs, demand for silicon carbide is expected to continue rising in the coming years.

China is considered one of the largest consumers of semiconductors and is pursuing an active policy aimed at expanding domestic production in this sector. In 2019, semiconductors were designated as one of the priority areas of the national “Made in China 2025” program in Beijing. This initiative focuses on increasing the production of high value-added products. By 2025, China aims to meet approximately 70% of its domestic semiconductor demand through local manufacturing.



**Figure 1 – Leading Regions in the SiC Market**

The semiconductor industry in India is also developing rapidly. According to data from the Department of Electronics and Information Technology, more than 2,000 semiconductor integrated circuits are designed annually in the country. The growth in production volumes is expected to create favorable conditions for the expansion of the silicon carbide market in the future.

In addition, the India Electronics and Semiconductor Association (IESA) has signed a memorandum of understanding with the Singapore Semiconductor Industry Association (SSIA) to promote trade and technical cooperation in the electronics and semiconductor sectors. This partnership may stimulate the development of innovative semiconductor manufacturing technologies and further expand the scope of silicon carbide applications in India [12].

The conducted literature review demonstrates that SiC synthesis technologies, structural characteristics, and functional properties are directly related to the wide range of its applications. The Acheson, Lely, PVT, SHS, and volume combustion methods differ in terms of product structure, purity, and size, enabling the use of SiC in applications ranging from abrasive materials to high-technology semiconductor devices.

In recent years, the growing interest in SiC has been driven by its resistance to high temperatures, strong electric fields, and aggressive environments, as well as its ability to improve energy efficiency. In particular, SiC-based materials are gaining increasing importance in electronics and semiconductor industries and are widely applied in electric vehicles, renewable energy systems, and power electronics.

Furthermore, market analysis indicates that SiC production and consumption are geographically uneven. While the Asia–Pacific region leads in terms of production volume and consumption levels, North America and Europe play a crucial role in the development of high value-added SiC-based technologies.

## References

- 1 Nakhodnova, A. V. Application of Raman spectroscopy for monitoring temperature fields in the core of an Acheson furnace. *Spectroscopy of Inelastic Light Scattering*, 2021, pp. 118-120.
- 2 Shcherbakova, V. B.; Grinchuk, P. S. Thermodynamic modeling of silicon carbide formation during the Acheson process in non-stoichiometric mixtures. *Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Series of Physical and Technical Sciences*, 2024, vol. 69, no. 2, pp. 106-113.

- 3 Avrov, D. D., et al. Comparative ellipsometric analysis of 4H, 15R, and 6H silicon carbide polytypes obtained by a modified Lely method in a single growth process. *Technical Physics Letters*, 2020, vol. 46, no. 19, pp. 28-31.
- 4 Fadeev, A. Yu.; Lebedev, A. O.; Tairov, Yu. M. Growth of single crystals of 4H silicon carbide on seeds oriented in the (1 $\bar{1}$ 2) plane. *Semiconductors*, 2012, vol. 46, no. 10, pp. 1368-1373.
- 5 Yushchenko, T. S.; Brusilovsky, A. I. A new engineering approach to the development and adaptation of a PVT model for natural gas condensate mixtures. *Proceedings of Gas Science*, 2015, no. 4, pp. 14-20.
- 6 Yushchenko, T. S.; Brusilovsky, A. I. A stepwise approach to the development and adaptation of PVT models for reservoir hydrocarbon systems based on equations of state. *Georesources*, 2022, vol. 24, no. 3, pp. 164-181.
- 7 Manashev, I. R., et al. Technology for producing nitrated ferroalloys using the self-propagating high-temperature synthesis method. *Theory and Technology of Metallurgical Production*, 2019, no. 4 (31), pp. 4-12.
- 8 Ageev, O. A., et al. *Silicon Carbide: Technology, Properties, and Applications*. 2010.
- 9 Perez, D. E. R.; Nosenko, V. A.; Danilov, D. V. Chemical preparation of silicon carbide for the production of self-bonded silicon carbide. *Fundamental and Applied Problems of Engineering and Technology*, 2016.
- 10 Nosenko, V., et al. Influence of grinding methods on the shape factor of black silicon carbide grains. *Metal Processing: Technology, Equipment, Tools*, 2025, vol. 27, no. 3, pp. 108-121.
- 11 Luchinin, V.; Tairov, Yu. Domestic semiconductor silicon carbide: a step toward parity. *Modern Electronics*, 2009, vol. 7, p. 12.
- 12 Silicon Carbide Production Technology [Electronic resource]. Available at: <https://ttvsif.at.ua/page17.html> (access mode: open). Accessed: 25 December 2025.

UDC 669.168

## INVESTIGATION OF THE ELECTRICAL RESISTIVITY OF COAL SLUDGE FOR USE IN PRODUCING Fe-Cr-Mn-Si COMPLEX ALLOYS

**Zhakan A., Sadyk Zh.**

*Zh. Abishev Chemical-Metallurgical Institute, Karaganda, Kazakhstan*

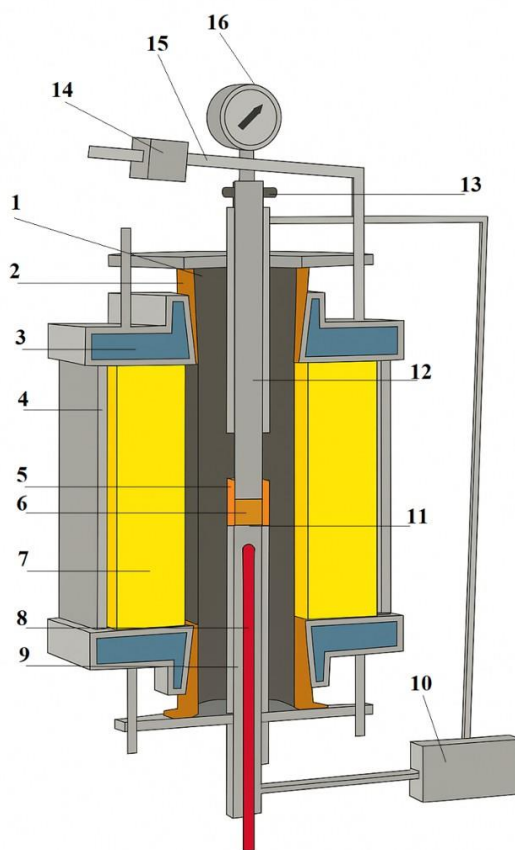
**Introduction.** An analysis of the world raw material base for metallurgy shows that every year there are fewer and fewer high-quality ore raw materials, and the requirements for metal quality, on the contrary, are growing. In this regard, there is a need for materials with new complex properties. In order to improve the quality of the metal and introduce new promising technologies, it is necessary to conduct in-depth physico-chemical research. This determines the increased role of physical chemistry, which is the basis for obtaining a metal with given properties.

The effectiveness and feasibility of using any ferroalloys is determined not only by their chemical composition (concentration of the main elements and associated impurities), but also by their physico-chemical properties (granulometric composition, density, surface quality, melting point, etc.). The practice of steelmaking production determines not only the chemical composition of ferroalloys when assessing their quality, but also their physical properties (melting point, density, etc.) mainly determine the effectiveness of alloying steel in a bath.

The concept of the value of mineral raw materials is based on a whole complex of characteristics. In this case, the cost of raw materials should be divided into economic and metallurgical. The economic value of raw materials is explained by the costs of its extraction from the subsurface and preliminary preparation (crushing, sorting, enrichment, etc.). Factors determining the metallurgical value include: the amount of the leading element; the content and multiplicity of slag, determining the amount and composition of waste rock; harmful impurities (phosphorus, sulfur, non-ferrous metals, etc.); the ability of ore to enrich; physical and physicochemical characteristics (strength, granulometric composition, porosity, moisture capacity, reduction capacity, melting point, etc.); the size of the deposit, the conditions for the formation of ores and its geographical and economic conditions. The existing methods of metallurgical assessment of mineral raw materials can be divided into estimated, experimental and manufactured, respectively, on the basis of production indicators (according to the final technical economic indicators of the functioning of the enterprise, aggregate, etc.), which differ in different levels of accuracy for these specific conditions [1].

The electrical resistance of materials is of important practical importance in the production of ferroalloys in electric ore-thermal furnaces in industry. With a change in the electrical resistance of the raw material located in the ore thermal furnace, the main parameter of this furnace – a change in the operating voltage – is associated. The power of the furnace, its electrical and heat losses,  $\cos \varphi$ , and therefore one of the most important technical and economic indicators of the technological process – the actual consumption of electricity depends on the amount of operating voltage.

**Materials and methods of research.** A lot of work has been devoted to the study of the electrical resistance of various raw materials components of electric ore-thermal furnaces and much attention has been paid to the problems of electrical resistance of individual concentrates and raw materials used for smelting various ferroalloys during the development of the production of ferroalloys in high-power electric furnaces [2].



- 1 – carbon-graphite tube; 2 – copper clamping ring; 3 – water - cooled cap; 4 – water - cooled body;  
 5 – alund glass; 6 – test device; 7 – protective nail; 8 – thermocouple; 9 – bottom electrode;  
 10 – digital ohmmeter; 11 – graphite bottom for alund cans; 12 – top electrode; 13 – water cooling;  
 14 – cargo; 15 – lever; 16 – electronic device for measuring shrinkage

**Figure 1 – Installation (cross-section) for determining specific electrical resistance and shrinkage**

So, in experimental practice, the method proposed by V. I. Zhuchkov was widely used, which makes it possible to determine the electrical resistance at high temperatures with a simultaneous establishment of the degree of softening (shrinkage) of materials [3].

To measure the specific electrical resistance during heating, the coarseness of the source material (for all raw component materials) was 3-5 mm. Measurements were carried out in the Tamman high-temperature laboratory furnace. Studies on changes in the electrical conductivity of raw materials were carried out in the range of 25-1600 °C, the heating rate is 15 degrees/min. Resistance measurements by the Agroskin and Shumilovsky method are made every 50 °C. To increase the information content of the received data, it is recommended to automatically record the electrical resistance in the computer's memory every 30 seconds.

For this purpose, a special scheme was developed for connecting transducers to the Tamman laboratory furnace (Figure 1). The experiment unit consists of a Tamman furnace in which the material is heated. The starting material with a height of 4 cm is placed in a cavity of alund glass (5) (vial diameter 3 cm) installed in the Tamman furnace.

Data recording was carried out using converters of signals coming from the thermocouple (8), electrodes (9, 12) and a device for measuring shrinkage. Graphite electrodes (9,12) with holes in the thermocouple (8) were installed on both sides of the material to supply voltage. The lower electrode is fixed motionless, and the upper electrode has the ability to decrease when the material shrinks under the influence of load. The weight (14) constantly presses the top

electrode against the material, thus creating a tight bond. The pressure on the material was 0.02-0.04 MPa. Through the bottom electrode of the alund tube, a thermocouple is placed to isolate it from electric current.

A.A. Agroskin and S.N. Lyandyros studied the change in coal resistance in the cooling process after preheating. Studies have shown that when cooling coal heated to 400 °C, its electrical resistance returns its value to the original value. In this case, the  $\lg \rho$  value of coal heated to 600

°C at room temperature is approximately halved from the initial temperature and corresponds to the resistance of coal at 400 °C. The electrical resistance of coal heated to 800 °C is slightly restored when cooled, and the electrical resistance of coal heated to 1000 °C is practically unchanged.

The electrical resistance of coal depends on the degree of their metamorphism. Coals in the middle stage of metamorphism have a maximum specific electrical resistance. Coals in the low stage of metamorphism are characterized by a fairly large electrical conductivity, and materials in the high carbonization stage with minimal electrical resistance [4].

The amount of specific electrical resistance is affected by the amount of mineral impurities. With the increase in ash, the electrical resistance of low and medium carbonation coal at room temperature decreases, and at high temperatures it increases. This phenomenon is explained by the fact that organic matter in coal at a low stage of metamorphism has a significantly higher electrical resistance than mineral impurities. When heated, the electrical resistance of all coal increases with an increase in their ash content [5].

The electrical resistance of the bulk layer of carbon materials consists of the resistance of the material itself and the resistance of the transition contacts between the reducing parts. The electrical resistance of the raw component increases with a decrease in the size of the carbon reducing agent. The bath of the ferroalloy furnace is a volumetric conductor of the electric field. The distribution of current and power here depends mainly on the electrical resistance of the raw component, which, in turn, is determined by the electrical conductivity of the reducing agent.

**Results and their discussion.** Figure 2 shows the dependence of the temperature effect on changes in the electrical resistance of coal sludge.

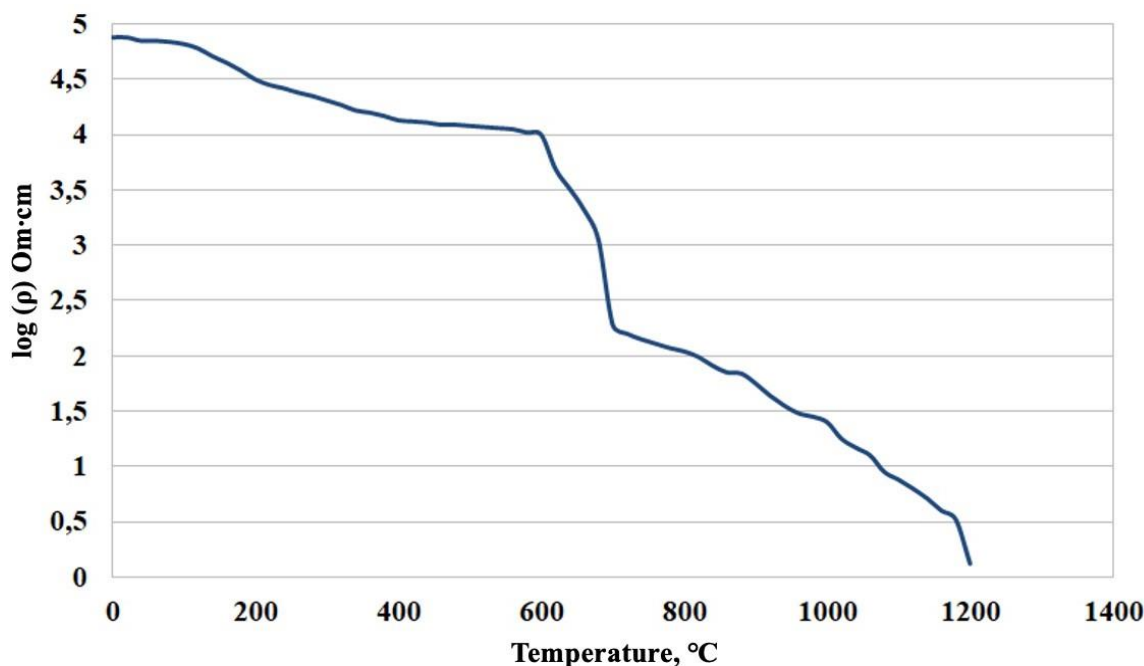


Figure 2 – Electrical resistance of coals depending on temperature

Graphical analysis showed that in the low-temperature range of 20-300 °C, coal sludge is characterized by high electrical resistivity, indicating properties close to those of an insulating material. Starting from about 600 °C, a pronounced decline is observed in the resistivity curve. In the temperature interval of 600-750 °C, the specific electrical resistivity decreases sharply. This behavior is explained by the thermal decomposition of organic matter present in the coal sludge, the formation of dispersed carbon, and the enhancement of semiconducting properties.

Within the range of 750-1000 °C, the electrical resistivity gradually decreases and begins to stabilize. At this stage, the electrical conductivity of the material increases significantly due to the intensified formation of conductive carbon structures. At temperatures above 1000 °C, resistivity drops sharply as a result of intensified graphitization processes, leading to a further improvement in the material's electrical conductivity.

The temperature-dependent variation of the electrical resistivity of coal sludge is thus directly related to its structural and phase transformations. These patterns indicate the potential for the efficient use of coal sludge as a reducing agent and as an auxiliary raw material in ferroalloy production.

### Conclusions

Coal sludge demonstrates a pronounced decrease in electrical resistivity with increasing temperature due to thermal decomposition, formation of conductive carbon phases, and graphitization at high temperatures. These transformations significantly enhance its electrical conductivity above 600 °C.

The obtained results confirm the suitability of coal sludge as an effective reducing agent and electrically conductive component in ferroalloy smelting, contributing to improved furnace performance and energy efficiency.

### References

- 1 Zhakan A.M. Research and analysis of raw materials for the smelting of complex alloys with chromium and manganese components: dis. ... master tech. Nauk. - Aktobe, 2024. - P. 43. (In Kazakh)
- 2 Makhambetov Ye., Abdrashit A., Kuatbay Ye., Yucel O., & Tajiev E.(2022). To study the electrophysical properties of raw materials for smelting a complex alloy of aluminosilicomanganese. Engineering Journal of Satbayev University, 144(2), 15–21. <https://doi.org/10.51301/ejsu.2022.i2.03> (In Kazakh)
- 3 Zhuchkov V.I., Mikulinsky A.S. Methodology for determining the electrical resistance of materials and charges. // Experimental technique and methods of high-temperature measurements. Moscow, 1966, pp. 43-46. (In Russian)
- 4 Peng, A.; Lu, H.; Zhao, W.; Morvan, H.; Zhu, M. Characteristics of Ash Accumulation and Alkali Metal Migration in Coal-Fired Power Station Boilers Under Low-Load Combustion. Processes 2025, 13, 242. <https://doi.org/10.3390/pr13010242>
- 5 Pak, Y.; Pak, D.; Ibragimova, D.; Matonin, V.; Tebayeva, A. Assessment of Natural Radioactivity and Trace Element Composition of Coals and Ash and Slag Waste in Kazakhstan. Atmosphere 2025, 16, 125. <https://doi.org/10.3390/atmos16020125>

УДК 669.168

## ПОЛУЧЕНИЕ КРЕМНИСТОГО СПЛАВА ИЗ СМЕСИ ОКИСЛЕННОЙ РУДЫ ШАЛКИЯ И ХВОСТОВ ОБОГАЩЕНИЯ СУЛЬФИДНОЙ РУДЫ ЭТОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Айткулов Д.К.<sup>1.</sup>, Шевко В.М.<sup>2.</sup>, Маханбетова Б.А.<sup>2.</sup>

<sup>1</sup>РГП «НЦ КПМС РК», г. Алматы, Казахстан

<sup>2</sup>Южно-Казахстанский университет им. М. Ауэзова, г. Шымкент, Казахстан

Окисленные свинцово-цинковые руды относятся к труднообогатимым, поэтому они преимущественно переходят в отвал.

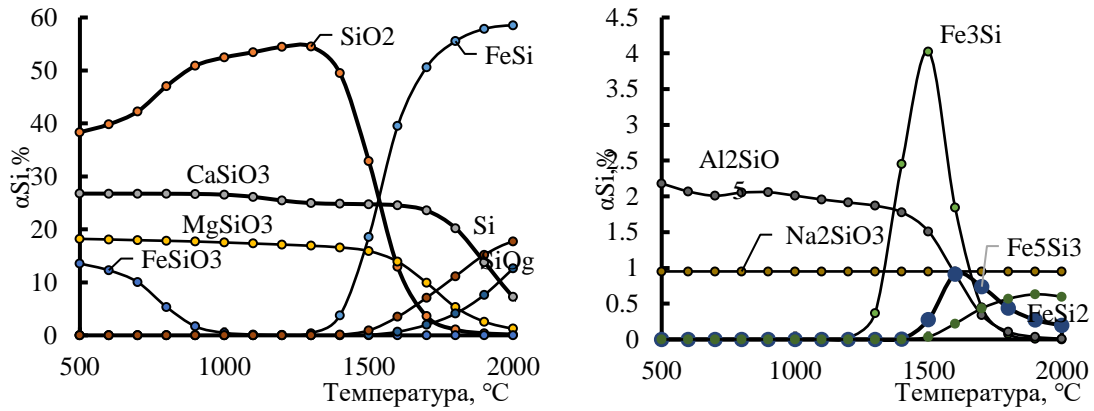
Сейчас в мировой практике, отсутствует комплексная технология, которая позволяет перерабатывать не только лежалые и текущие хвосты обогащения, но и труднообоготимой окисленной части рудного цинксодержащего тело. Это, в частности, относится и к руде месторождения Шалкия [1], переработка которой сопровождается образованием хвостов, накоплением в отвалах окисленной руды и низкой степенью комплексного использования сырья. В связи с этим возникла объективная необходимость в создании способа комплексной переработки руд, окисленных месторождения Шалкия и хвостов ее обогащения на основе нового комплекса теоретических исследований, обосновывающих эту технологию. В частности, исследования углетермического восстановления цинка и свинца из сульфидов, кремния из его оксида, а также из руд и хвостов в присутствии магнетита - донора кислорода для окисления сульфидов и источника железа при образовании кремнийсодержащих сплавов.

Термодинамические исследования проводили с привлечением программного комплекса HSC-6.0 [2]. Этот комплекс разработан Outokumpu Research Oy финской металлургической компанией и предназначен для анализа химических реакций и расчёта равновесий. Разработчики комплекса основывались на идеологии консорциума SGTE, что позволяет использовать его для иллюстрации одного из вариантов реализации принципов SGTE. Разработчики HSC Chemistry непрерывно развивают комплекс в плане расширения базы данных и увеличения опций. В консорциум входят специализированные научные центры Германии, Канады, Франции, Швеции, Великобритании и США [3]

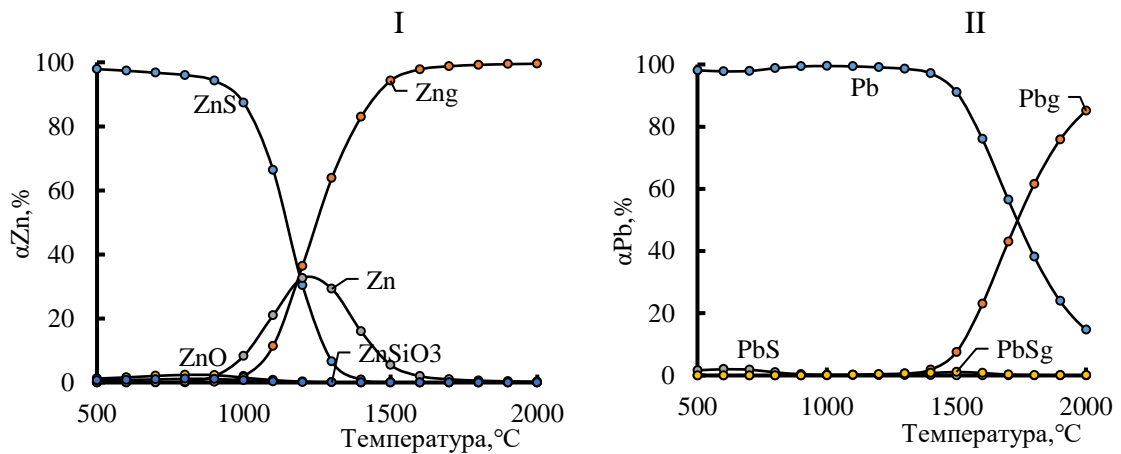
Исследования проводили со смесью окисленной руды Шалкия и хвостов обогащения сульфидной руды с отношением 1:1, при помощи программного комплекса HSC-6.0 при давлении 1 бар.

На рисунке 1 показано влияние температуры на  $\alpha_{Si}$  при 35% Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, из которого следует, что основными кремнийсодержащими веществами в системе являются SiO<sub>2</sub>, SiO<sub>g</sub>, FeSiO<sub>3</sub>, FeSi, CaSiO<sub>3</sub>, MgSiO<sub>3</sub>, Al<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub>, Si, Fe<sub>3</sub>Si, Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>, FeSi<sub>2</sub>, Fe<sub>5</sub>Si<sub>3</sub>. А такж видно, что в системе силицид железа (FeSi) начинает образовываться при 1300°C, кремний при 1400°C, SiO<sub>г</sub>- 1500°C, кроме этого, Fe<sub>3</sub>Si-1400°C, Fe<sub>5</sub>Si<sub>3</sub> -1500°C, FeSi<sub>2</sub>-1600°C.

На рисунке 2 показано влияние температуры на равновесную степень распределения цинка и свинца [3-4], из которого видно, что при 35% Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> цинк в газ переходит более 99% в температурной области 1600 -2000°C. А также видно, что свинец переходит в газ не менее 90 % при температуре  $\geq 2000^\circ\text{C}$ . Причем, свинец возгоняется хуже, чем цинк.

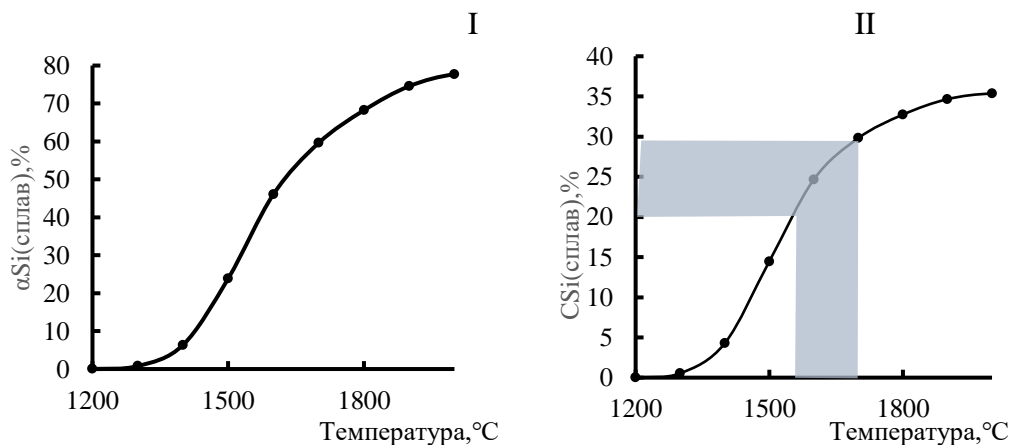


**Рисунок 1 – Влияние температуры на равновесное распределение кремния в системе**



**Рисунок 2 – Влияние температуры на равновесное распределение цинка (I) и свинца (II) в системе**

Влияние температуры на извлечение и концентрацию кремния в сплаве показано на рисунке 3. Из рисунка видно, что  $\alpha_{Si(спл)}$  при 1700-1800°C составляет 62-70%, а содержание кремния в сплав составляет 29,8%. При этой температуре содержание цинка в сплав составляет 0,02%, свинец 0,60%.



**Рисунок 3 – Влияние температуры на извлечение кремния в сплав (I) и концентрацию этого элемента в сплаве (II)**

По содержанию кремния ферросплав можно отнести его марке FeSi25 [5]. Распределение кремния в системе цинка и свинца при 66%  $Fe_3O_4$  показано на рисунках 4 и 5.

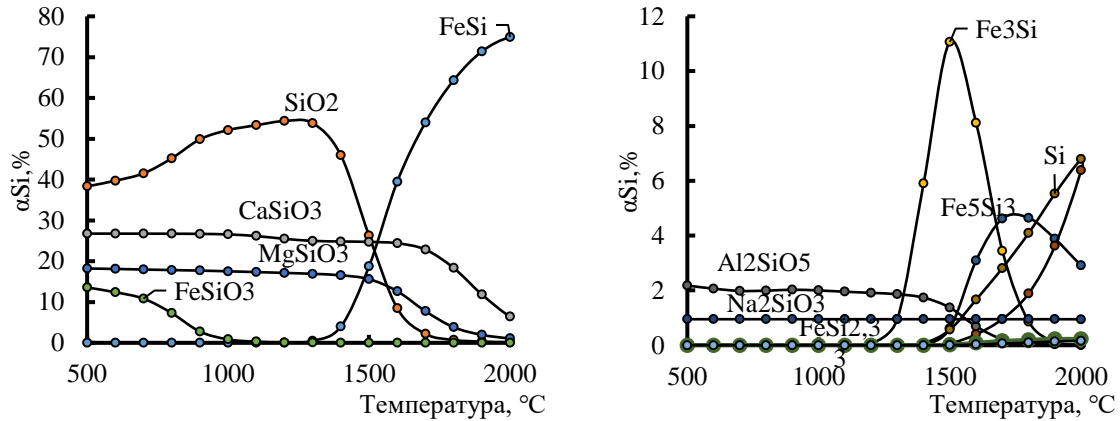


Рисунок 4 – Влияние температуры на равновесное распределение кремния

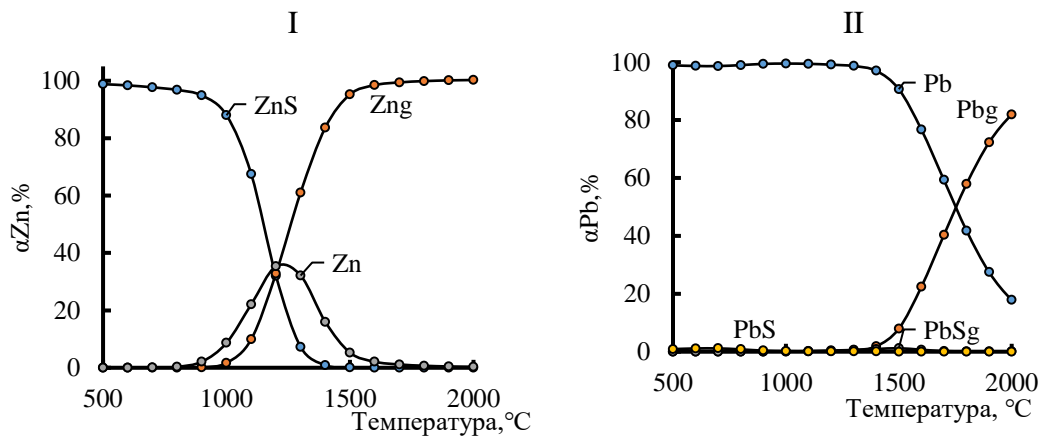


Рисунок 5 – Влияние температуры на равновесное распределение цинка (I) и свинца (II)

Из рисунка 5 видно, что цинк в газ переходит более 99% в температурной области 1600-2000°C. При этом свинец переходит в газ 87,8 % при температуре  $\geq 2000^\circ\text{C}$ . Здесь также, свинец возгоняется хуже, чем цинк.

Влияние температуры на извлечение и концентрацию кремния в сплаве показано на рисунке 6.

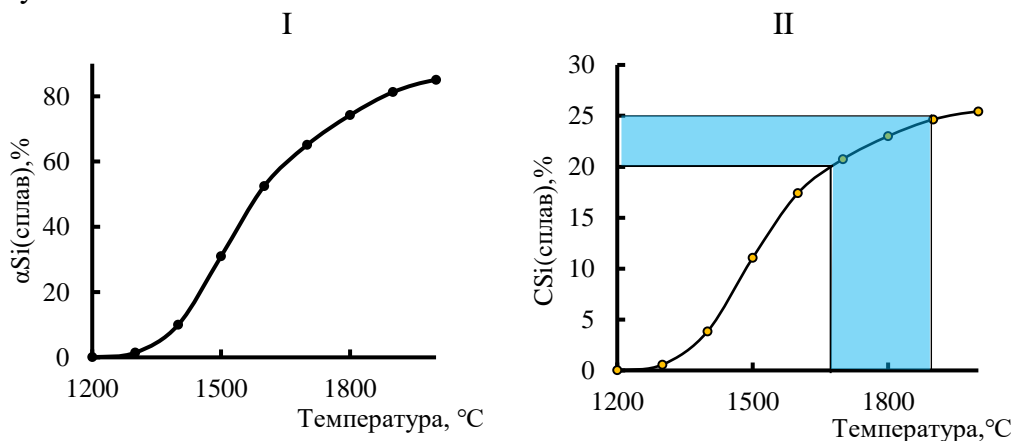


Рисунок 6 – Влияние температуры на извлечение и концентрацию кремния в сплаве

Из рисунка 6 следует, что  $\alpha_{Si(спл)} > 70\%$  происходит при температуре более 1700°C. Содержание кремния в сплав не превышает 27%. В температурной области 1710-1920°C происходит образования ферросилиция марки FeSi25.

На основании проведенных исследований по переработке смеси окисленной руды и хвостов обогащения свинцово-цинковой руды Шалкия можно сделать следующие выводы:

В равновесных условиях:

– основными кремнийсодержащими веществами в системе являются  $SiO_2$ ,  $SiO_g$ ,  $FeSiO_3$ ,  $FeSi$ ,  $CaSiO_3$ ,  $MgSiO_3$ ,  $Al_2SiO_5$ ,  $Si$ ,  $Fe_3Si$ ,  $Na_2SiO_3$ ,  $FeSi_2$ ,  $Fe_5Si_3$ .

– в системе силицид железа ( $FeSi$ ) начинает образовываться при 1300°C, кремний при 1400°C,  $SiO_g$  – 1500°C, кроме этого,  $Fe_3Si$  – 1400°C,  $Fe_5Si_3$  – 1500°C,  $FeSi_2$  – 1600°C,

– ферросилиций марки FeSi25 формируется при 1700-1800°C и 35 % магнетита с извлечением 62-70%, а содержание кремния в сплав составляет 29,8%.

### Источники

- 1 АО «Шалкия Цинк ЛТД». Годовой отчет за 2016 год-KASE. [http://kase.kz>emitters>SHZN>shznp\\_2016\\_rus](http://kase.kz>emitters>SHZN>shznp_2016_rus)
- 2 Roine, A. "HSC Chemistry®", [software] Metso:Outotec, Pori, 2021. Available at: [www.mogroup.com/hsc](http://www.mogroup.com/hsc) [Accessed: 11 October 2021]
- 3 Shevko, V. M., Serzhanov, G. M., Karataeva, G. E., Amanov, D. D. "Расчет равновесного распределения элементов применительно к программному комплексу HSC-5.1" (Calculation of equilibrium distribution of elements as applied to the software package HSC-5.1), Certificate for the object protected by copyright of Republic of Kazakhstan, 1501, 2019. (in Russian).
- 4 Инков А.М., Тапалов Т., Умбетов У.У., Ху Вен Цен В., Ахметова К.Т., Дьякова Е.Т. Методы оптимизации: электронная книга. ЮКГУ, 2003.
- 5 ГОСТ 1415-93. Ферросилиций. Технические требования и условия поставки. М.: Стандартинформ, 2011.

УДК 669.168

## ОПЫТ ВЫПЛАВКИ ПЕРЕДЕЛЬНОГО ФЕРРОСИЛИКОМАРГАНЦА И МАРГАНЦЕВОЙ ЛИГАТУРЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БРИКЕТИРОВАННОЙ МОНОШИХТЫ ПОЛУЧЕННОЙ ОБЖИГМАГНИТНЫМ СПОСОБОМ ИЗ ЖЕЛЕЗОМАРГАНЦЕВОЙ РУДЫ

**Байсанов А.С., Акуов А.М., Сиргетаева Г.Е., Воробкало Н.Р.,  
Султангазиев Р.Б., Жумагалиев Т.Ж.**

*Филиал РГП «НЦ КПМС РК» «ХМИ им. Ж. Абишева», г. Караганда, Казахстан*

Испытания по выплавке марганцевых ферросплавов были проведены с использованием моношихты – марганцевых брикетов, полученных обжигмагнитным способом из железомарганцевой руды.

Испытания проводились на рудно-термической печи, оборудованной двухфазным понижающим печным трансформатором мощностью 300 кВА. Печной трансформатор позволяет варьировать вторичное напряжение в пределах 18-50В (шесть ступеней), сила тока на высокой стороне при этом достигает 789А.

Выплавку вели непрерывным способом с загрузкой шихты по мере просадки колошника с периодическим выпуском металла и шлака через каждые 2 часа в чугунные изложницы. Посадка электрода была достаточно глубокой и стабильной, спеканий колошника не наблюдалось. Металл и шлак выходили активно, что подтверждало горячий ход процесса в целом.

Брикеты в составе шихты загружались в печь. В качестве восстановителя дополнительно использовался высокозольный уголь месторождения Сарыадыр, в качестве флюса - доломит. При выплавке передельного ферросиликомарганца работа печи характеризовалась стабильной токовой нагрузкой. Отмечена достаточная прочность брикетов термическому воздействию, что способствовало равномерному газовыделению по всей поверхности колошника.

Кратность шлака составляла 0,5-0,7, степень извлечения марганца 79-81% и кремния 45-55%. Полученный металл по своему химическому составу соответствовал передельному ферросиликомарганцу марки СМн25. Бесшлаковый процесс выплавки марганцевой лигатуры характеризуется снижением выхода шлака и практически его отсутствием.

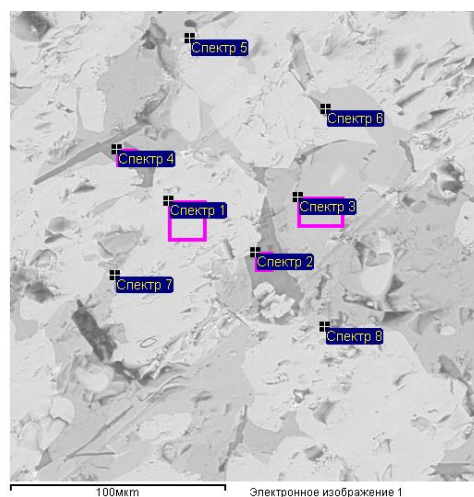
Выплавленный металл после остывания и отбора пробы подвергался экспресс анализу на портативном рентгено-флуоресцентном анализаторе Niton. Выборочно отдельные пробы сдавались на полный химический анализ на основные элементы (таблица 1). В ходе проведения испытаний вышли на стабильный режим выплавки передельного ферросиликомарганца (по химическому составу, соответствующему марке МнС25 по ГОСТ 4756-91 или FeMnSi30 по ISO 5447-80) и марганцевой лигатуры (соответствующей ТУ СТ ТОО 120941015505-01-2016).

**Таблица 1 – Химический состав выплавленного марганцевой лигатуры и передельного ферросиликомарганца**

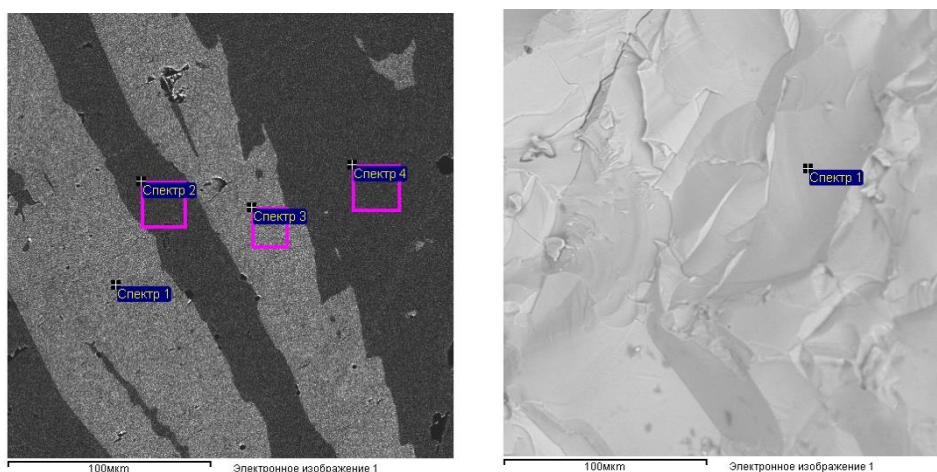
№ пробы	Содержание, %						
	Mn	Si	Al	Fe	P	S	C
1	39,72	26,18	7,07	26,65	0,06	0,024	0,067
2	58,84	22,75	0,45	14,61	0,07	0,03	0,5

Полученные опытные образцы марганцевых ферросплавов, в частности марганцевой лигатуры, являются сплавами нового поколения, которые требуют более глубокого исследования физико-химических свойств. Поэтому в рамках данной работы провели исследования структуры выплавленных передельного ферросиликомарганца и марганцевой лигатуры с помощью растрового электронного микроскопа Tescan Vega II.

Растровый электронный микроскоп Tescan Vega II предназначен для исследования структуры поверхности материалов в диапазоне увеличений от 4 до 500000 раз, получения объемного изображения структуры шлифов и исследования изломов металлов и сплавов, определения размеров частиц, определения причин разрушения материалов, прогнозирования прочностных и эксплуатационных характеристик различных материалов. Разрешение 3.0 нм (при 30 кВ); увеличение от 12 до 1000000 раз, диаметр камеры образцов 230 мм. Результаты исследования приведены на рисунках 1 и 2.



**Рисунок 1 – Микроструктура образца марганцевой лигатуры, полученная на растровом электронном микроскопе «TESCANVEGA» при кратности увеличения  $\times 1000$**



**Рисунок 2 – Микроструктура образцов передельного ферросиликомарганца, полученная на растровом электронном микроскопе «TESCANVEGA» при кратности увеличения  $\times 1000$**

Химические составы спектров на микроструктуре образца №1 марганцевой лигатуры (соответствующей марке ФС35А10М50 по ТУ СТ ТОО 120941015505-01-2016), выраженные в весовых и атомных процентах, представлены в таблице 2.

**Таблица 2 – Химический состав спектров, обнаруженных в образце марганцевой лигатуры, при кратности увеличения  $\times 1000$** 

Спектры	Содержания элементов, %, вес					$\Sigma$
	Mn	Fe	Si	Al	Ca	
1	48,32	16,42	32,54	2,03	0,00	100
2	1,50	0,61	39,43	34,37	20,13	100
3	31,16	18,86	34,79	15,19	0,00	100
4	6,48	1,86	39,67	34,31	17,25	100
Спектры	Содержания элементов, %, атомных					
	Mn	Fe	Si	Al	Ca	
1	36,32	12,14	47,84	3,11	-	100
2	0,79	0,32	40,51	36,76	14,50	100
3	20,95	12,48	45,77	20,80	0,00	100
4	3,60	1,02	43,13	38,83	13,14	100

Химические составы спектра на микроструктуре передельного ферросиликомарганца (по химическому составу соответствующего марке СМн25 по ГОСТ 4756-91 (ISO 5447-80)), выраженные в весовых и атомных процентах, представлен в таблице 3.

**Таблица 3 – Химический состав спектра, определенного в образце передельного ферросиликомарганца, при кратности увеличения  $\times 1000$** 

Спектры	Содержания элементов, %, вес					$\Sigma$
	Fe	Mn	Ti	Si	Al	
1	10,80	57,08	1,42	27,52	0,37	100
	Содержания элементов, %, атомных					
	7,95	42,73	1,22	40,30	0,57	100

В результате испытаний по выплавке марганцевых ферросплавов с использованием марганцевых брикетов, полученных из обжигмагнитных марганцевых концентратов, на рудно-термической печи мощностью 300 кВА установлено:

- марганцевые брикеты имеют достаточную термическую прочность в верхних и нижних горизонтах печи;
- использование марганцевых брикетов приводит к снижению температуры на колошнике до 500-600°C, что положительно сказывается на тепловом балансе плавки;
- возможность полной замены металлургического кокса, как восстановителя, на высокозольный уголь и полукокс (попутно получаемый при обжигмагнитном обогащении железомарганцевой руды), вдобавок тесный контакт части восстановителя с марганцевыми минералами в брикете увеличивает степень использования углерода за счет уменьшения потерь последнего на угар.

Микроструктура передельного ферросиликомарганца однородная, представлена сложными силицидами марганца и железа (Fe, Mn)Si с небольшим содержанием алюминия и титана. Спектральным анализом на растровом электроном микроскопе Tescan Vega II с системой рентгеноспектрального микроанализа Oxford Inca установлено, что полученные из обжигмагнитных марганцевых концентратов передельный ферросиликомарганец и марганцевая лигатура состоят из сложных силицидов марганца и железа (Fe, Mn)Si, (Fe, Mn)<sub>3</sub>Si<sub>2</sub>, тройных эвтектик ((Fe, Mn)Si + (Fe, Mn)Si<sub>2</sub>) + Al и CaSi + Al.

*Данное исследование финансируется Комитетом Науки Министерства Науки и Высшего Образования Республики Казахстан (грант № AP23487934).*

УДК 669.168

## РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ КАРБОТЕРМИЧЕСКОЙ ВЫПЛАВКИ ФЕРРОСПЛАВА С ТИТАНОМ

**Воробкало Н.Р.<sup>1</sup>, Байсанов А.С.<sup>1</sup>, Шариева С.С.<sup>1</sup>, Жаксанов Н.Б.<sup>2</sup>, Макишев А.К.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Филиал РГП «НЦ КИМС РК» «ХМИ им. Ж. Абишева», г. Караганда, Казахстан

<sup>2</sup>НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова»,  
г. Караганда, Казахстан

Одной из основных технологических проблем при выплавке ферросплавов с титаном карботермическим способом является склонность титана к образованию тугоплавких карбидов (TiC), что обусловлено его высоким сродством к углероду. Для предотвращения этого необходимо чётко установить условия, при которых образование карбидных фаз будет минимальным, а восстановление титана наиболее полным. В связи с этим, для оценки возможности получения ферросплава с титаном карботермическим способом и оценки склонности системы к образованию карбидных соединений проведено термодинамическое моделирование. Термодинамические расчёты позволят спрогнозировать оптимальные параметры плавки и минимизировать потери титана.

Таким образом, целью настоящей работы является термодинамическое обоснование условий получения комплексного титансодержащего ферросплава с минимальным образованием карбидных фаз, путем моделирования фазовых превращений в системе Ti-Al-Si-Fe-C-O. Для моделирования использовался программный комплекс HSC Chemistry.

Для подбора оптимального соотношения компонентов шихтовой смеси для выплавки сплава с содержанием 25-40% Ti были рассчитаны 3 состава рабочих тел. В качестве восстановителя был выбран высокозольный уголь месторождения Сарыадыр. Богатый титановый шлак - источник титана. Расчет состава шихты выполняли на 100 кг угля. Варьируемым параметром при термодинамическом моделировании будет являться содержание в составе шихты кварцита. Составы рассчитанных составов рабочих тел приведены в таблице 1. Исходя из рассчитанных составов шихтовых смесей был произведен расчет составов рабочих тел (таблица 2).

**Таблица 1 – Состав рудной части шихтовых смесей**

№ шихтовой смеси	Богатый титановый шлак		Кварцит	
	содержание в составе шихты, кг	доля в составе шихты, %	содержание в составе шихты, кг	доля в составе шихты, %
1	20	16,6	0	0
4	35	23,3	15	10
5	40	25	20	12,5

Таблица 2 – Химический состав рассчитанных рабочих тел

№ шихтовой смеси	Химический состав рабочих тел, кг						
	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	C <sub>ТВ</sub>	SiO <sub>2</sub> / C <sub>ТВ</sub>	(SiO <sub>2</sub> + TiO <sub>2</sub> )/ C <sub>ТВ</sub>
1	3,01	27,87	16,34	16,25	29	0,96	1,5
4	4,67	42,86	17,07	28,10	29	1,48	2,44
5	5,23	47,85	17,32	32,05	29	1,65	2,75

Далее, результаты моделирования представлены в виде графиков зависимостей содержания, составляющих сплава фаз от температуры для каждого расчетного состава рабочего тела. Данные графики представлены на рисунке 1.

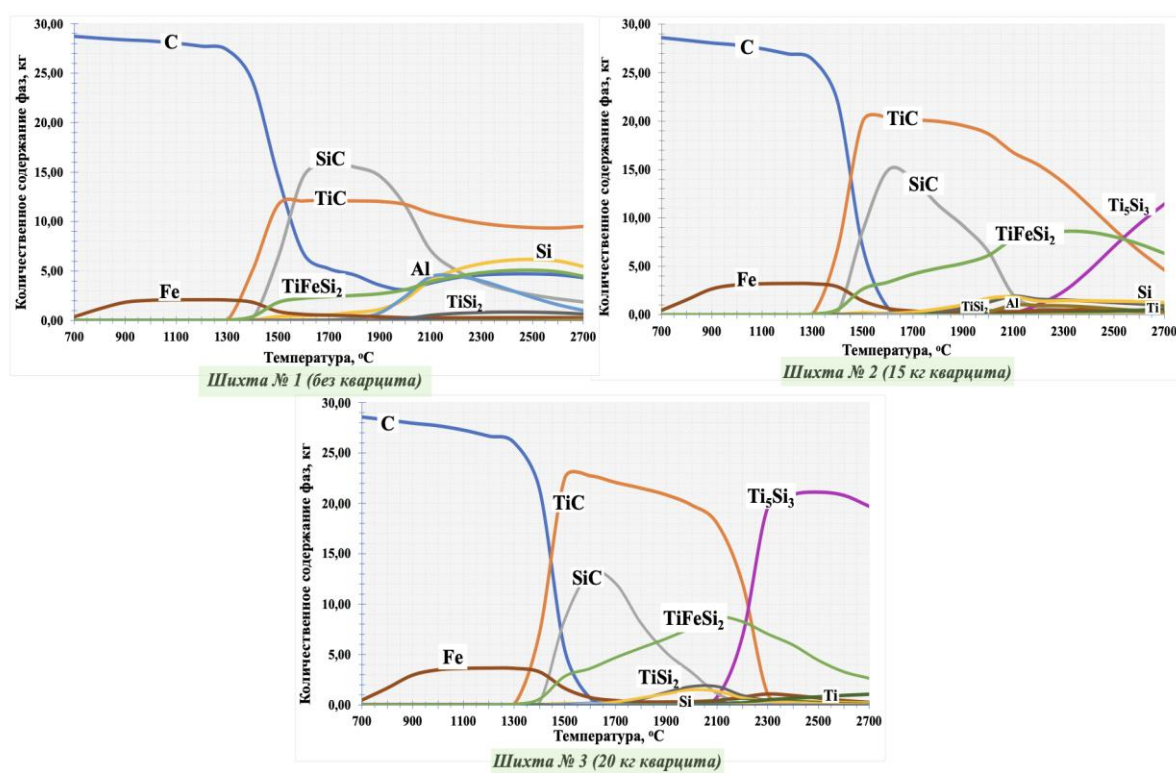


Рисунок 1 – Результаты моделирования карботермической выплавки ферросплава с титаном

Результаты моделирования в металлических и карбидных фазах позволяют установить, что при каждом соотношении компонентов шихтовой смеси реакции восстановления основных элементов начинаются при температуре 1600°C. Однако, при составах шихты, где кварцита нет, происходит активное устойчивое образование тугоплавких карбидных фаз с титаном (TiC) и кремнием (SiC). С повышением доли кварцита в составе шихтовой смеси наблюдается промежуточное образование карбидов с последующим их исчезновением при более высоких температурах. При составах шихтовой смеси с повышенной долей кварцита, при температурах от 2200°C наблюдается переход карбидов кремния и титана в силициды титана в виде соединений TiSi<sub>2</sub>, TiFeSi<sub>2</sub> и Ti<sub>5</sub>Si<sub>3</sub>, которые характеризуют состав разрабатываемого комплексного ферросплава. Также при данных шихтовках наблюдается образование свободного титана, не связанного в соединения при повышенных температурах.

На основании данных проведенного термодинамического анализа, с учетом образования тех или иных металлических и карбидных фаз, смогли рассчитать ориентировочный химический состав получаемого комплексного сплава (рисунок 2).

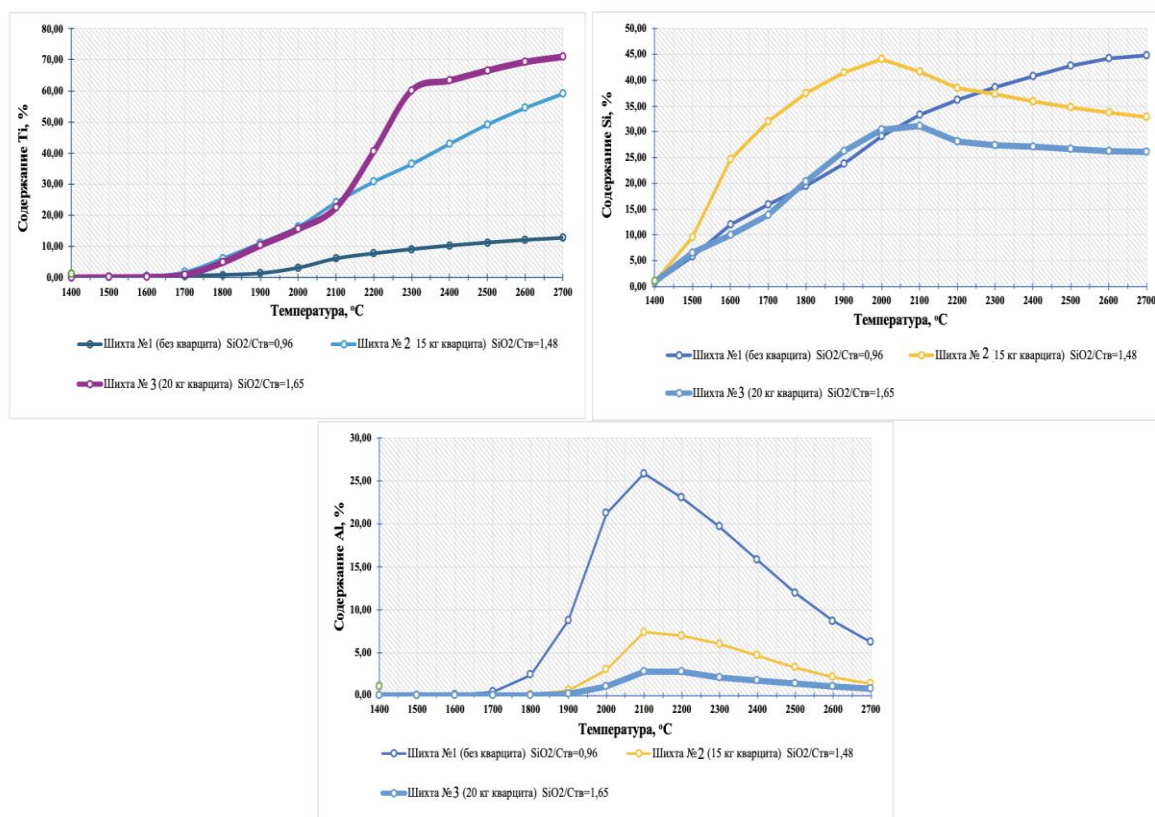


Рисунок 2 – Зависимость содержания титана, кремния и алюминия в сплаве от температуры

Полученные данные, свидетельствуют о том, что сплав с оптимальным содержанием основных компонентов в виде Ti – 20-30%; Si – 30-35; Al – 5-15% и железо остальное, возможно получить при содержании кварцита в составе шихты более 10%. На графиках зависимости элементов от температуры оптимальный состав сплава лежит в температурном интервале 1900-2100°C.

Результаты термодинамического моделирования позволили спрогнозировать восстановительные процессы, происходящие при выплавке нового комплексного титансодержащего ферросплава, которые происходят с образованием устойчивых или промежуточных карбидных фаз (в зависимости от состава шихты) при температуре от 1600°C. На устойчивость карбидов влияет содержание в шихте, кремния, которое регулируется добавкой кварцита.

В результате проведенного термодинамического моделирования нескольких расчетных составов шихты выявили оптимальное соотношение SiO<sub>2</sub> к твердому углероду. Установлено, что для получения сплава оптимального состава, отношение SiO<sub>2</sub>/C<sub>тв</sub> = 1,65.

Таким образом, согласно термодинамическому анализу, установили температуру начала совместного карботермического восстановления основных элементов сплава, соответствующую 1600°C. При низком содержании кварцита в составе шихты, наблюдается устойчивое образование карбидов титана и кремния при температурах выше 1300°C. При повышенных содержаниях кварцита также наблюдается образование карбидов, однако данные фазы не устойчивые, и полностью исчезают при температурах 2100-2200°C с переходом в силициды титана TiSi, TiSi<sub>2</sub> и Ti<sub>5</sub>Si<sub>3</sub>. Установили, что

карботермической выплавкой из богатого титанового шлака, возможно получить сплав с оптимальным содержанием основных компонентов при содержании кварцита в составе шихты более 15 кг (10% от состава шихты). Оптимальный состав сплава лежит в температурном интервале 1900-2100°C. Определили оптимальное соотношение  $\text{SiO}_2$  к твердому углероду,  $\text{SiO}_2/\text{C}_{\text{ТВ}} = 1,65-1,82$ .

Результаты моделирования карботермической выплавки титансодержащего сплава позволили дать рекомендации по получению сплава в укрупненно-лабораторных условиях, заключающиеся в том, что выплавку сплава необходимо вести поэтапно. Использование кварцита в составе шихты делает возможным получение ферросплава с титаном карботермическим способом с использованием высокозольного угля в качестве восстановителя. Наличие кварцита позволит предотвратить образование карбидных фаз, получить более равномерное распределение компонентов, увеличить их контактную поверхность и, тем самым осуществить более полное восстановление титана, железа, кремния и алюминия из оксидов шихтовой смеси углеродом при снижении энергоемкости процесса.

*Данное исследование выполнено при финансовой поддержке Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (АР 27510013).*

УДК 669.018

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НАНОМОДИФИКАТОРОВ НА СВОЙСТВА ЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ

Исагулов А.З., Квон Св.С., Куликов В.Ю.

*НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова»,  
г. Караганда, Казахстан*

Одним из актуальных трендов в современном металловедении является исследование и разработка способов управления структурами в период первичной кристаллизации [1]. В качестве объекта исследований была определена сталь марки 40ХНЗМФ. Наномодификаторы, в количестве 0,2% от массы шихты и упакованные в алюминиевую фольгу, вводили непосредственно в шихту. Плавку проводили в индукционной лабораторной печи с усиленной системой охлаждения в корундо-муллитовом тигле для избежания процесса науглероживания. Расплавленный металл интенсивно перемешивался под влиянием магнитного поля, создаваемого индуктором в течение 3 минут. Температура металла перед разливкой составляла 15600С, температуру определяли с помощью погружной термопары ППР. Плавку разливали в песчано-глинистые формы, повторяющие форму образцов для последующих испытаний. После полного охлаждения образцы были подвергнуты стандартной термообработке: закалка в масле 8500С с последующим отпуском 6000С на воздухе.

В таблице 1 приведены результаты исследования механических свойств опытного образца. В качестве образца сравнения использовалась сталь 40ХНЗМФ без наномодифицирования.

**Таблица 1 – Свойства стали 40ХНЗМФ после наномодифицирования**

Образец	Твердость, НВ	$\sigma_B$ , МПа	$\delta$ , %	Приведенный износ образца, мм <sup>3</sup> /(Н·м)
Сталь 40ХН2МФ	272	860	10	$4.56 \cdot 10^{-6}$
Сталь 40ХНЗМФ после наномодифицирования	320	910	12	$4.27 \cdot 10^{-6}$

Как видно из данных таблицы 1 все показатели, по которым проводились исследования, выше в стали после наномодифицирования. Надо отметить, что повышение свойств стали связано, в первую очередь, не с образованием новых фаз (например, карбидной), а исключительно с изменениями в структуре.

Проведя анализ таких величин, как расчетная энтропия смешения, микротвердость и прочность опытного сплава в сравнении с аналогичными характеристиками высокоэнтропийного сплава на базе аналогичной системы CoCrFeMnNi можно утверждать, что опытный сплав можно отнести к классу ВЭС. Однако учитывая, что в опытном сплаве не достигнута эквиатомная концентрация, а также присутствует некоторое количество примесей в виде силикатных включений, этот сплав можно характеризовать, как квазивысокоэнтропийный. Проведенные исследования по выплавке КВЭС с частичным использованием ферросплавов вместо чистых металлов показали принципиальную возможность такой замены. В данной работе доля замены составила 40% (2 из 5 компонентов). Расширение базовой системы, например, до 6 компонентов, позволит увеличить долю заменяющих ферросплавов до 50%, что

соответственно, увеличит концентрацию железа в составе сплава. Кроме того, использование ферросплавов при выплавке КВЭС дает широкие перспективы для создания определенных свойств, например, коррозионностойкость, при условии использования ферросплавов, содержащих элемент нужной природы.

#### **Источник**

- 1 P. Kovalev, S. Riaboshuk, A. Issagulov, Sv. Kvon, V. Kulikov Improving Shipbuilding Steel Grade Quality at Stages of Smelting, Secondary Refining, and Continuous Casting // Metals 2019, 9(2), p.203.

УДК 622.765.1; 662.613

## ВЛИЯНИЕ ОРГАНИЧЕСКОГО ПРОДУКТА ПИРОЛИЗА РИСОВОЙ ШЕЛУХИ НА ФЛОТАЦИЮ ЗОЛОТОСОДЕРЖАЩЕГО СЫРЬЯ

Каналы Т.С.<sup>1</sup>, Есенгараев Е.К.<sup>2</sup>, Ражан Е.Б.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>РГП «НЦ КПМС РК», г. Алматы, Казахстан

<sup>2</sup> Филиал РГП «НЦ КПМС РК» ГНПОПЭ «Казмеханообр», г. Алматы, Казахстан

**Введение.** Флотация является одним из основных методов обогащения тонко вкрапленных и труднообогатимых руд цветных и благородных металлов. Эффективность флотационного процесса в значительной степени определяется правильно подобранным реагентным режимом, включающим тип, расход и сочетание собирателей, вспенивателей и модификаторов среды. В условиях ужесточения экологических требований и роста стоимости химических реагентов актуальной задачей является поиск альтернативных, экологически безопасных и экономически эффективных флотореагентов, в том числе получаемых из вторичных и возобновляемых ресурсов [1-4].

Одним из перспективных направлений является использование органических продуктов, получаемых при переработке отходов агропромышленного комплекса. Рисовая шелуха, образующаяся в значительных объемах при переработке риса, характеризуется высоким содержанием целлюлозы, лигнина и диоксида кремния, что делает её ценным сырьём для получения функциональных химических продуктов [5].

**Цель и задачи исследования.** Целью настоящей работы являлось исследование возможности применения органического продукта, полученного при пиролизе рисовой шелухи, в качестве вспенивателя при флотационном обогащении золотосодержащего сырья одного из месторождений Восточного Казахстана.

Для достижения поставленной цели были сформулированы следующие задачи:

- изучить вещественный состав и технологические характеристики исследуемой золотосодержащей руды;
- определить влияние крупности измельчения на показатели флотационного обогащения;
- провести сравнительные флотационные испытания с использованием традиционного вспенивателя (метилизобутилкарбинола) и органического продукта пиролиза рисовой шелухи;
- оценить влияние расхода органического продукта на извлечение и качество золотосодержащего концентрата.

**Объект и методика исследования.** Объектом исследования служила золотосодержащая руда смешанного типа с содержанием золота 1,7-1,9 г/т и серебра 8-9 г/т. Основными минералами являлись пирит, арсенопирит, оксиды железа, а также минералы меди, свинца и цинка в подчинённых количествах.

Органический продукт получали пиролизом рисовой шелухи при температуре около 600 °С в бескислородной среде. Продукт представлял собой жидкую фракцию, содержащую кислоты, фенолы, спирты и кетоны, обладающие поверхностно-активными свойствами [5].

Флотационные испытания проводили в лабораторных условиях на флотомашине ФМЛ 240 с объёмом камеры 3,0 л. В качестве собирателя использовали амиловый ксантогенат калия при постоянном расходе 300 г/т. В качестве вспенивателя применяли органический продукт пиролиза рисовой шелухи в расходе 2-6 л/т, а для сравнения

– метилизобутилкарбинол (МИБК) в расходе 90 г/т. Исследования выполняли при различной крупности измельчения руды с выделением основной и контрольной флотации.

**Основные результаты.** Флотационные испытания показали, что степень измельчения существенно влияет на показатели обогащения. Максимальные значения извлечения золота достигались при крупности измельчения 80 % класса –0,071 мм. В этих условиях суммарное извлечение золота превышало 73 %.

Установлено, что органический продукт пиролиза рисовой шелухи в процессе флотации проявляет не только вспенивающие, но и собирательные свойства, что позволяет рассматривать его как многофункциональный реагент реагентного режима [6].

Сравнительные результаты флотации золотосодержащей руды с использованием органического продукта и традиционного вспенивателя представлены в таблице 1.

**Таблица 1 – Показатели флотационного обогащения золотосодержащей руды при использовании различных вспенивателей**

Продукты	Время флот., минут	Выход, %	Содержание Au, г/т	Распределение Au, %
ОП 6 л/т				
Концентрат основной флот.	7	7,84	15,23	64,55
Концентрат контрольной флот.	20	7,98	3,47	14,97
Хвосты		84,18	0,45	20,48
Руда	27	100,00	1,85	100,00
МИБК 90 г/т				
Концентрат основной флот.	7	8,19	14,10	60,77
Концентрат контрольной флот.	20	7,37	3,24	12,57
Хвосты		84,44	0,60	26,66
Руда	27	100,00	1,90	100,00

Как видно из таблицы 1, применение органического продукта пиролиза рисовой шелухи обеспечивает более высокие показатели извлечения золота по сравнению с МИБК. Суммарное распределение золота в концентратах при использовании органического продукта достигает 79,5 %, тогда как при применении МИБК – около 73,3 %.

Кроме того, использование органического продукта способствует снижению потерь золота с хвостами флотации (20,48 % против 26,66 %), что свидетельствует о более эффективном вовлечении золотосодержащих частиц в пенную фазу. Повышенное содержание золота в концентрате основной флотации подтверждает проявление органическим продуктом не только вспенивающих, но и частично собирательных свойств.

## Выводы

Проведённые исследования подтвердили принципиальную возможность и технологическую целесообразность использования органического продукта пиролиза рисовой шелухи при флотационном обогащении золотосодержащего сырья.

Органический продукт проявляет многофункциональные свойства: выполняет роль вспенивателя и частично собирателя, что положительно сказывается на извлечении золота и снижении его потерь с хвостами.

При оптимальных режимах измельчения и расхода реагентов достигается повышение извлечения золота до 79-80 %, что превышает показатели традиционного вспенивателя МИБК.

Продукт характеризуется сырьевой доступностью, экологической безопасностью и возможностью производства из отходов рисопереработки на территории Казахстана.

Полученные результаты позволяют рассматривать органический продукт пиролиза рисовой шелухи как перспективный многофункциональный компонент реагентного режима флотации и основу для дальнейших исследований и опытно-промышленных испытаний.

## Источники

- 1 Есенгараев Е.К., Сухарников Ю.И., Телков Ш.А., Хайруллина С.Т. Флотореагент для обогащения полиметаллических руд Казахстана на основе органического продукта пиролиза рисовой шелухи // Вестник КазНТУ. – 2015. – №1 (107). – С. 330-335.
- 2 Бергер Г.С. Флотиримость минералов. – Москва: Госгортехиздат, 1962. – 67 с.
- 3 Шубов Л.Я., Иванков С. И., Щеглова Н. К. Флотационные реагенты в процессах обогащения минерального сырья. Книга 2 – М. "Недра" 1990. – С. 3.
- 4 Ефремова С.В., Сухарников Ю.И., Еремин Ю.П., Бунчук Л.В., Андерсон К.Дж. Оценка флотационной активности пиролизита от рисовой шелухи при обогащении труднообогатимых руд // Абишевские чтения – 2006 «Жидкость на границе раздела фаз – теория и практика»: материалы Межд. научно-практ. конф., посвящ. 70-летию Лауреата гос. премии РК, член-корр. НАН РК Ж.Н. Абишева. – Караганда, 2006. – С. 84-87.
- 5 Есенгараев Е.К. Получение органического продукта из рисовой шелухи и применение его в качестве флотореагента при обогащении полиметаллических руд. Диссертационная работа, Алматы, 2015. – С. 45-58.
- 6 Ефремова С.В., Бунчук Л.В., Ли Э.М., Ниязов А.А., Сухарников Ю.И. Полупромышленные испытания флотореагента из рисовой шелухи в качестве собирателя // Журнал «Комплексная использование минерального сырья» №4. – Алматы, 2017. – С. 5-10.

УДК 669.15

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАДИАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА МИКРОТВЕРДОСТЬ СПЛАВА НА ОСНОВЕ ЖЕЛЕЗА

Қанжігіт Г.А.<sup>1,2</sup>, Қапсаламова Ф.Р.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Казахстанско-Британский технический университет, г. Алматы, Казахстан

<sup>2</sup>РГП «НЦ КПМС РК», г. Алматы, Казахстан

**Введение.** В условиях эксплуатации конструкционных материалов в ядерной энергетике, космической технике и радиационно-опасных производствах особую актуальность приобретает изучение влияния ионизирующего излучения на структуру и свойства металлических сплавов [1]. Железо и сплавы на его основе широко применяются благодаря сочетанию прочностных характеристик, технологичности и экономической доступности [2-4]. Однако воздействие нейтронного облучения может приводить к радиационно-индуцированным дефектам, фазовым превращениям и деградации механических свойств, что существенно влияет на надежность и долговечность изделий [5, 6].

**Цель и задачи исследования.** Целью работы является исследование влияния нейтронного облучения на механические свойства сплава на основе железа системы Fe-Ni-Cr-Cu-Si-B-C.

Для достижения поставленной цели были сформулированы следующие задачи:

- провести нейтронное облучение образцов сплава при заданных дозах и флюенциях;
- оценить изменение механических характеристик - микротвердости;
- проанализировать взаимосвязь между дозой облучения и изменением свойств сплава.

**Основные результаты.** В качестве объекта исследования использовался сплав системы Fe-Ni-Cr-Cu-Si-B-C, полученный методом газопорошковой наплавки. Исходная твердость покрытия составляла около 547 HV по Виккерсу. Облучение образцов проводилось на исследовательской критической установке теплового типа мощностью 100 Вт с водяным замедлителем. Образцы размещались в канале 9–9 активной зоны реактора. Облучение осуществлялось в водной среде при контролируемых параметрах температуры, уровня и химического состава воды. Нейтронный поток определялся активационным методом; рассчитанная накопленная нейтронная флюенция составила  $(4,8-9,6) \times 10^{12}$  н/см<sup>2</sup> при времени облучения 3600-7200 с.

Установлено, что нейтронное облучение образцов при заданных флюенциях приводит к незначительному, но систематическому снижению массы образцов ( $\approx 0,14-0,16$  г), что, вероятно, связано с взаимодействием нейтронов с бором и образованием радиационных дефектов в приповерхностных слоях материала.

Механические испытания показали выраженное снижение твердости покрытия после нейтронного облучения: с исходных  $\sim 550-570$  HV до  $444-470$  HV. Установлена четкая дозовая зависимость - увеличение времени облучения и накопленной флюенции приводит к снижению твердости, что указывает на радиационно-индуцированное разупрочнение материала.

### Выводы

Сплав системы Fe-Ni-Cr-Cu-Si-B-C характеризуется высокой исходной твердостью, обусловленной присутствием боридных и борокарбидных фаз. Это делает данный материал перспективным для применения в условиях повышенного износа в ядерной промышленности.

Однако, нейтронное облучение при низких флюенциях приводит к заметному снижению твердости (с ~547 HV до 444–470 HV), что связано с радиационно-индуцированным разрушением упрочняющих фаз и перераспределением дефектов в структуре материала [7, 8].

Полученные результаты указывают на чувствительность исследуемого сплава к радиационному воздействию и необходимость дальнейшей оптимизации его состава и микроструктуры с целью повышения радиационной стойкости и надежности при эксплуатации в ядерных энергетических установках.

### Источники

- 1 Иванов И.О. Радиационные эффекты в металлических материалах // Физика металлов и металловедение. – 2020. – Т. 121. – № 5. – С. 450-458.
- 2 Петров П.П. Материаловедение для ядерной энергетики. – Москва: Атомиздат, 2018. – 320 с.
- 3 Was G.S. *Fundamentals of Radiation Materials Science*. – Berlin: Springer, 2017. – 827 p.
- 4 Garner F.A. Radiation damage in austenitic steels // *Journal of Nuclear Materials*. – 2012. – Vol. 422. – No. 1-3. – P. 1-8.
- 5 Singh B.N., Foreman A.J.E. Defect production and accumulation in irradiated metals // *Philosophical Magazine*. – 2003. – Vol. 83. – No. 30. – P. 3581-3604.
- 6 Odette G.R., Lucas G.E. Embrittlement of nuclear reactor pressure vessels // *Journal of Materials*. – 2001. – Vol. 53. – No. 7. – P. 18-22.
- 7 Баранов В.А., Сидоров Д.С. Микроструктурные изменения железных сплавов под действием ионизирующего излучения // *Металловедение и термическая обработка металлов*. – 2021. – № 9. – С. 12-18.
- 8 Zinkle S.J., Was G.S. Materials challenges in nuclear energy // *Acta Materialia*. – 2013. – Vol. 61. – No. 3. – P. 735-758.

ӘОЖ 669

## ХРОМ-МАРГАНЕЦ ЛИГАТУРАСЫН БАЛҚЫТУ ҮШІН ТОТЫҚСЫЗДАНДЫРҒЫШ РЕТІНДЕ ҚОЛДАНЫЛАТЫН ФСХ ШАҢЫН БРИКЕТТЕУ ТЕХНОЛОГИЯСЫ

Кабылканов С.К., Садық Ж.О.

*Ж.Әбішев атындағы Химия-металлургия институты, Қарағанды қ., Қазақстан*

**Кіріспе.** Брикеттеу металлургияда ұсақ және шаң тәрізді материалдарды жоғары температуралы өңдеуге дайындаудың кеңінен қолданылатын технологиялық әдістерінің бірі болып табылады. Бұл әдіс шихта компоненттерінің көлемдік тығыздығын арттыруға, шаң шығынын азайтуға, пеш көлемінде материалдың біркелкі таралуын қамтамасыз етуге және тотықсыздану процестерін тұрақтандыруға мүмкіндік береді. Әсіресе брикеттеу бағалы элементтері бар, бірақ бастапқы дисперсті күйінде қолданылуы шектеулі екінші реттік материалдар мен металлургиялық қалдықтарды қайта өңдеу үшін өзекті болып табылады.

ФСХ қорытпасын өндіру кезінде дайын өнімді ұсату және жіктеу сатыларында едәуір мөлшерде ұсақ шаң түзіледі. Бұл шаң кремний, темір, қалдық хром және алюминий қоспаларын қамтиды, соның нәтижесінде тотықсыздандырғыштық қасиетке ие. Алайда, ФСХ шаңы әдетте негізгі технологиялық циклге қайтарылмай, қиын пайдаланылатын қосалқы өнім ретінде жиналады.

ФСХ шаңының химиялық құрамы мен физика-химиялық қасиеттері оны хром-марганец лигатураларын өндіру үшін перспективті екінші реттік тотықсыздандырғыш ретінде қарастыруға мүмкіндік береді. Дегенмен, оның жоғары шаңдануы, төмен көлемдік тығыздығы және шихтада біркелкі таралмауы тікелей қолдануды шектейді.

ФСХ шаңын металлургиялық процеске тартудың ең тиімді жолдарының бірі – алдын ала брикеттеу. Брикеттеу материалдың механикалық беріктігі мен тығыздығын арттырып, кремний мен хромның шаңмен бірге шығындалуын азайтады және хром-марганец лигатурасын балқыту кезінде тотықсыздану реакцияларының тұрақты жүруін қамтамасыз етеді.

**Зерттеу материалдары мен әдістері.** Брикеттеу алдында шаң кептіріліп, біртекті құрам алу үшін гомогенизацияланды. Байланыстырғыш ретінде жоғары температурада тұрақты минералдық негіздегі материал пайдаланылды, ал су уақытша пластификатор қызметін атқарды.

Брикеттер ФСХ шаңын, байланыстырғыш пен суды араластырып, механикалық престеу арқылы дайындалды. Алынған брикеттер ауада кептіріліп, олардың механикалық беріктігі, құрылымдық тұтастығы және қыздыру кезіндегі термиялық тұрақтылығы бағаланды.

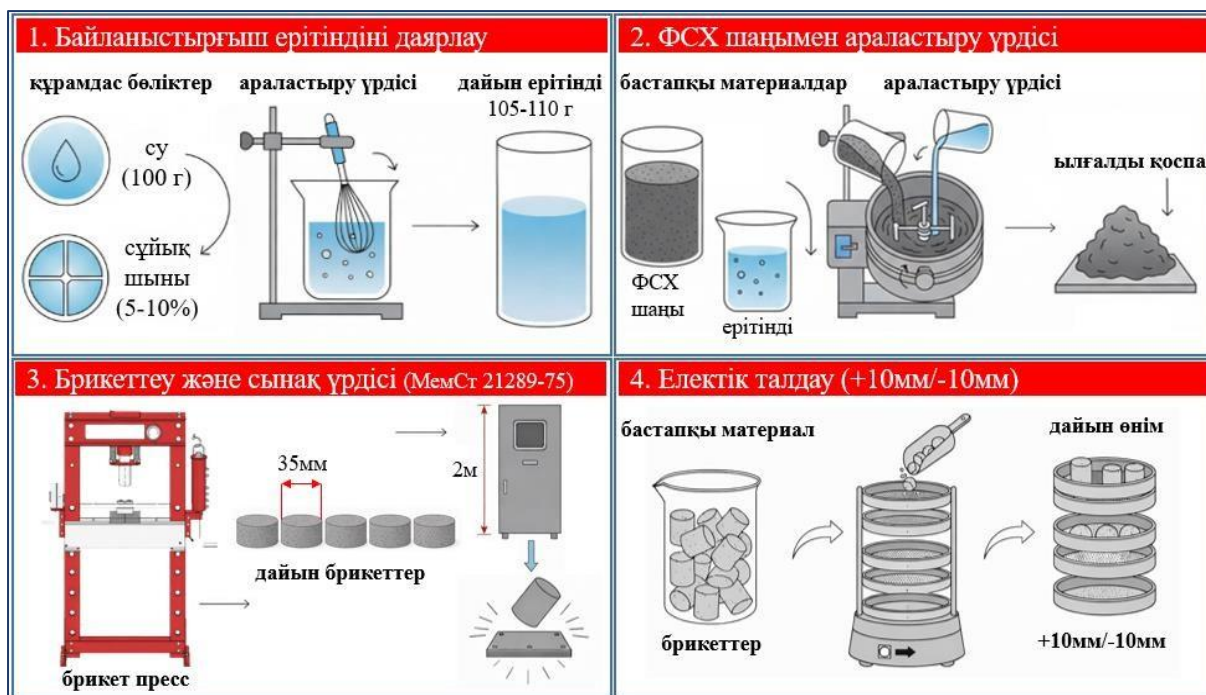
**Нәтижелер және оларды талқылау.** Алынған брикеттердің сапасына байланыстырғыштың түрі мен мөлшерінің әсерін анықтау үшін тәжірибелік жоспар әзірленді. Алдымен байланыстырғыш қоспасыз, таза ФСХ шаңынан дайындалған он брикеттен тұратын бақылау тобы алынды. Кейін байланыстырғыш ретінде сұйық шыны ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ) қолданылып, байланыстырғыш мөлшері қосылған судың жалпы массасының 5 масс.% және 10 масс.% құрайтын екі қосымша топ дайындалды. Әрбір жағдайда он брикеттен жасалып, жалпы саны отыз брикет үлгісі алынды.

Барлық тәжірибелік үлгілер 10 т қысыммен престелді, бұл барлық брикеттер үшін бірдей тығыздау жағдайларын қамтамасыз етті. Мұндай тәсіл брикеттердің механикалық

беріктігін сенімді түрде салыстыруға және байланыстырғыш мөлшерінің олардың беріктік қасиеттеріне әсерін жан-жақты бағалауға мүмкіндік берді.

Кептіру жағдайларының брикеттердің соңғы беріктігіне әсерін бағалау үшін әр топтағы үлгілер екі топшаға бөлінді. Дайындалған отыз брикеттің он бесі табиғи жағдайда, бөлме температурасында (20–25 °С) 24 сағат бойы кептірілді, ал қалған он бесі кептіру шкафында 200 °С температурада 120 минут термиялық өңдеуден өткізілді. Бұл әдістеме кептіру режимдерінің брикеттердің құрылымдық және механикалық қасиеттеріне әсерін салыстырмалы түрде талдауға және оңтайлы технологиялық параметрлерді анықтауға мүмкіндік берді.

Алынған брикеттердің механикалық беріктігі МемСТ 21289–75 стандартына сәйкес дәстүрлі әдіс бойынша анықталды. Аталған әдіске сәйкес әрбір брикет 2 м биіктіктен жазық металл табақшаға тасталып, соққы жүктемесіне төзімділігі бағаланды. Бұл сынақ тасымалдау және пешке тиеу кезінде өндірістік жағдайда туындайтын механикалық әсерлерді модельдейді. Сынақтан кейін алынған сынықтарға електік талдау жүргізіліп, +10 мм (бүтін немесе ірі сынықтар) және –10 мм (ұсақ фракция) өлшемдік кластарының массалық үлестері анықталды. Зертханалық жағдайда бір брикет дайындаудың технологиялық тізбегінің сызбалық көрінісі 1-ші суретте көрсетілген.



1-сурет – ФСХ шаңынан брикет дайындау технологиясы

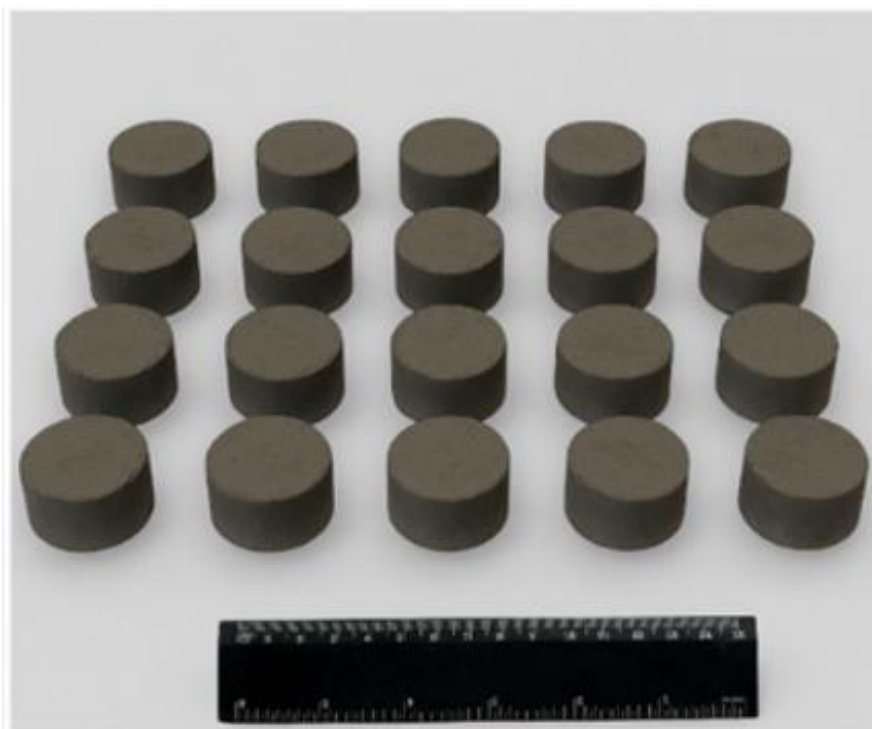
Алынған брикеттердің сапасын сандық тұрғыдан бағалау және олардың оңтайлы құрамы мен технологиялық параметрлерін анықтау мақсатында барлық тәжірибелік топтар бойынша алынған сынақ нәтижелеріне салыстырмалы талдау жүргізілді. Талдаудың негізгі мақсаты байланыстырғыштың (сұйық шыны) мөлшерінің 0%, 5% және 10% деңгейлерінде, сондай-ақ кептіру әдісінің (табиғи және жасанды) брикеттердің механикалық беріктігіне әсерін бағалау болды. Әрбір сынақ барысында брикеттердің механикалық тұрақтылығы оларды 2 м биіктіктен қатты бетке тастау арқылы анықталды, ал соққыдан кейін бүтін және зақымданған үлгілердің саны көзбен шолып тіркелді.

Брикеттердің беріктігін неғұрлым дәл сандық бағалау үшін әрбір тастау сынағынан кейін материалдың түйіршіктік құрамы електік талдау арқылы анықталды. Нәтижесінде екі негізгі өлшемдік фракцияның массалық үлестері есептелді: +10 мм фракциясы (механикалық жүктемеге төтеп берген бүтін брикеттер немесе ірі сынықтар,

технологиялық тұрғыдан жарамды деп есептелді) және –10 мм фракциясы (ұсатылған материал мен ұсақ фракциялар, технологиялық тұрғыдан жарамсыз деп қарастырылды). +10 мм фракциясының үлесі брикет сапасының негізгі критерийі ретінде қабылданды. Алынған брикеттердің жалпы сыртқы көрінісі 2-ші суретте көрсетілген, ал жүргізілген тәжірибелердің толық сандық нәтижелері 1-ші кестеде жинақталып берілген.

**Кесте 1 – Сынақ үшін дайындалған брикеттердің сандық көрсеткіштері**

№	Сұйық шыны – 5%			Сұйық шыны – 10%		
	Өлшемі, (Ø / h)	Салмағы, г	Кептіруден кейінгі салмағы, г	Өлшемі, (Ø / h)	Салмағы, г	Кептіруден кейінгі салмағы, г
1	35/15	43,10	41,15	35/14	48,65	44,05
2	35/15	44,65	40,10	35/14	43,45	41,00
3	35/15	44,00	41,20	35/14	46,00	42,15
4	35/15	48,00	43,30	35/15	43,00	42,10
5	35/15	48,70	44,25	35/15	46,50	43,50
6	35/15	46,95	43,10	35/15	47,10	43,75
7	35/15	43,45	40,30	35/15	48,10	46,30
8	35/15	46,70	42,15	35/16	47,75	44,20
9	35/16	49,30	43,95	35/16	47,35	43,95
10	35/16	49,15	44,50	35/16	49,50	46,41



**2-сурет – Сынақ үшін дайындалған брикеттер суреті**

Дайындалған брикеттердің негізгі физикалық сипаттамалары, соның ішінде геометриялық өлшемдері, бастапқы массасы және кептіруден кейінгі массасы 2-кестеде

келтірілген. Бұл деректер байланыстырғыш мөлшерінің (5% және 10% сұйық шыны) және кептіру жағдайларының брикеттердің массасы мен тығыздығына әсерін сандық тұрғыдан бағалауға мүмкіндік береді. Тәжірибелердің сенімділігін қамтамасыз ету үшін әрбір топ бойынша он үлгі дайындалды. Кестеде көрсетілгендей, барлық брикеттер тұрақты геометриялық өлшемдермен (диаметрі шамамен 35 мм, биіктігі 14–16 мм) сипатталады, бұл престоу жағдайларының біркелкі болғанын көрсетеді.

Құрамында 5% сұйық шыны бар брикеттердің престоуден кейінгі орташа бастапқы массасы 46,4 г құрады, ал кептіруден кейін ол 42,4 г дейін төмендеді, бұл шамамен 8,6% массалық жоғалуға сәйкес келеді. Бұл жоғалту негізінен бос ылғалдың булануымен байланысты. Ал 10% сұйық шыны қосылған брикеттерде кептіру кезіндегі массалық жоғалту аз болды: орташа масса 46,7 г-нан 43,7 г-ға дейін төмендеді, яғни шамамен 6,4%. Бұл байланыстырғыш мөлшерінің артуы кептіру барысында ылғалдың аз жоғалуына ықпал ететінін және соңғы тығыздықтың жоғарылауына әкелетінін көрсетеді.

Жалпы алғанда, алынған нәтижелер сұйық шыны мөлшерінің жоғары болуы массаның жақсы сақталуын қамтамасыз етіп, тығызырақ және тұрақты брикеттердің түзілуіне әкелетінін көрсетеді. Байланыстырғышсыз брикеттер механикалық беріктігінің жеткіліксіз болуына байланысты салыстырмалы талдауға енгізілген жоқ.

2 м биіктіктен үш рет тастау арқылы жүргізілген беріктік сынақтарының нәтижелері бойынша (тиісті мемлекеттік стандартқа сәйкес) құрамында 5% және 10% сұйық шыны бар брикеттер арасында айтарлықтай айырмашылық анықталған жоқ. Електік талдау нәтижелері бойынша +10/–10 мм фракцияларының шығымы 5% сұйық шыны бар брикеттер үшін 66–91%, ал 10% сұйық шыны бар брикеттер үшін 70–93% аралығында болды.

Орта есеппен алғанда, кептіру шкафында кептірілген брикеттер арасында 10% сұйық шыны бар үлгілердің механикалық беріктігі 5% байланыстырғышы бар үлгілерге қарағанда шамамен 1,5–2% жоғары болды. Бөлме температурасында кептірілген брикеттер үшін бұл айырмашылық сәл жоғарырақ болып, 3–4% құрады.

Жалпы алғанда, сұйық шыны мөлшерін 5%-дан 10%-ға дейін арттыру брикеттердің беріктігіне елеулі әсер етпейді. Алынған нәтижелер негізінде ФСХ шаңын брикеттеу үшін байланыстырғыштың 5% мөлшерін жеткілікті және экономикалық тұрғыдан оңтайлы деп санауға болады. Бұл концентрация брикеттердің өңдеу, тасымалдау және пешке тиеу кезінде қажет болатын ең төменгі механикалық беріктігін қамтамасыз етіп, процестің экономикалық тиімділігін сақтайды.

## Кесте 2 – Беріктікке сынаудан кейінгі брикеттердің салыстырмалы сандық көрсеткіштері

Лақтыру №	5% сұйық шыны қосылып жасалған брикеттер		10% сұйық шыны қосылып жасалған брикеттер	
	Кептіру пешінде кептірілген	Бөлме температурасында кептірілген	Кептіру пешінде кептірілген	Бөлме температурасында кептірілген
	Електік талдау, +10/–10, %	Електік талдау, +10/–10, %	Електік талдау, +10/–10, %	Електік талдау, +10/–10, %
1	91,11/8,79	87,36/12,64	93,14/6,86	90,00/10,00
2	83,64/16,36	79,14/20,96	85,32/14,68	81,28/18,72
3	81,27/18,73	66,71/33,29	82,13/17,87	70,12/29,88

### Қорытындылар

Осы зерттеуде ұсату операциялары барысында түзілетін ФСХ шаңын брикеттеу технологиясы әзірленіп, оны хром–марганец лигатураларын өндіруде

тотықсыздандырғыш агент ретінде пайдалану мүмкіндігі жүйелі түрде бағаланды. Алынған нәтижелер ФСХ ұсақ шаңын алдын ала брикеттеу жоғары температуралы металлургиялық өңдеуге технологиялық тұрғыдан жарамды формаға айналдырудың тиімді әдісі екенін көрсетті.

Тәжірибелік зерттеулер байланыстырғыш мөлшері мен кептіру жағдайлары алынған брикеттердің физикалық және механикалық қасиеттеріне әсер ететінін анықтады. Натрий силикатының (сұйық шынының) мөлшерін 5%-дан 10%-ға дейін арттыру кептіру кезінде массаның жақсы сақталуына және соңғы тығыздықтың сәл жоғарылауына алып келді. Алайда, байланыстырғыш мөлшерінің брикеттердің механикалық беріктігіне әсері салыстырмалы түрде шамалы екені анықталды. Кептіру режиміне байланысты 5% және 10% байланыстырғышы бар брикеттер арасындағы беріктік айырмашылығы 1,5–4%-дан аспады, бұл байланыстырғыш мөлшерін одан әрі арттыру айтарлықтай технологиялық артықшылық бермейтінін көрсетеді.

Тастау сынақтары мен электік талдау нәтижелерінің салыстырмалы талдауы негізінде натрий силикатының 5% мөлшері брикеттерді өңдеу, тасымалдау және пешке тиеу үшін қажетті ең төменгі механикалық беріктікті қамтамасыз етуге жеткілікті деп анықталды. Бұл байланыстырғыш деңгейі механикалық тұрақтылық пен экономикалық тиімділік арасындағы оңтайлы тепе-теңдікті қамтамасыз етіп, ірі көлемді зертханалық зерттеулер мен болашақта өнеркәсіптік қолдану үшін анағұрлым қолайлы болып табылады.

Жалпы алғанда, әзірленген брикеттеу технологиясы ФСХ шаңын екінші реттік тотықсыздандырғыш ретінде ұтымды пайдалануға мүмкіндік беріп, ферроқорытпа өндірісіндегі ресурстық тиімділік пен тұрақтылықты арттыруға ықпал етеді. Алынған нәтижелер хром–марганец лигатураларын балқыту кезінде брикеттердің металлургиялық мінез-құлқын зерттеуге бағытталған кейінгі жұмыстар үшін берік эксперименттік негіз қалайды.

## Әдебиеттер

- 1 Sariyev, O., Almagambetov, A., et al. (2025). Development of a Briquetting Method for Dust from High-Carbon Ferrochrome Crushing Using Vibropressing on an Industrial Scale and Its Subsequent Remelting. *Materials*, 18(11), Article 2608. <https://doi.org/10.3390/ma18112608>
- 2 Pascoal, A. L. (2022). Study of the Physical Behaviour and the Carbothermal Reduction Potential of Self-Reducing Briquettes Produced with Silica Fume and Various Binders. *Sustainability*, 14(17), Article 10963. <https://doi.org/10.3390/su141710963>
- 3 Li, Y., Chen, H., Hammam, A., et al. (2021). Study of an Organic Binder of Cold-Bonded Briquettes with Two Different Iron Bearing Materials. *Materials*, 14(11), Article 2952. <https://doi.org/10.3390/ma14112952>
- 4 Mogalanyane J. O., et al. Evaluation of binderless briquettes as potential feed for ferronickel processing // *Minerals*. 2025. Vol. 15, No. 7. Article 756. DOI: 10.3390/min15070756.
- 5 Dmitriev, A. N. (2025). Investigation of the Possibility of Obtaining Metallized Briquettes from Ore by Direct Reduction and Pressure Application. *Metals*, 15(11), Article 1250. <https://doi.org/10.3390/met15111250>

УДК 536.7+537.311+546.654:46:55/.59:881:711

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ И ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ $\text{LaMgCuVMnO}_{7.5}$

**Касенов Б.К., Касенова Ш.Б., Сагинтаева Ж.И., Куанышбеков Е.Е., Турдиев М.Т.**

*Филиал РГП «НЦ КИМС РК» «ХМИ им. Ж. Абишева», г. Караганда, Казахстан*

Изучение термодинамических свойств ванадатов, купратов и манганитов остается одним из приоритетных направлений современного материаловедения, что обусловлено высокой чувствительностью этих соединений к внешним воздействиям, фазовым переходам и перестройкам электронной структуры. Ключевые термодинамические параметры – энтальпии образования, теплоемкости, энергии фазовых переходов и устойчивость кислородной подрешетки – определяют структурную стабильность материалов, характер электронно-магнитных взаимодействий и механизмы проявления их функциональных свойств [1-3]. Исследование термодинамических характеристик, включая теплоемкость и энтальпии, необходимо для целенаправленного создания конструирования функциональных материалов с заданными физико-химическими свойствами [4-6].

Целью работы является экспериментальное исследование теплоемкости купрато-ванадато-манганита  $\text{LaMgCuVMnO}_{7.5}$  в интервале температур 298,15-673 К, выявление фазовых переходов II рода, а также определение на основе калориметрических данных температурных зависимостей термодинамических функций и установление их взаимосвязи с электрофизическими свойствами материала.

Теплоемкость  $\text{LaMgCuVMnO}_{7.5}$  исследовали в интервале температур 298,15 – 673 К на серийном калориметре ИТ-С-400. В основу прибора положен сравнительный метод динамического калориметра с тепломером и адиабатической оболочкой. В процессе эксперимента разогрева (через 25 °С) с помощью прибора Ф136 и секундомера измеряется временное запаздывание температуры ампулы по отношению к температуре основания, т.е. технические характеристики калориметра позволяют измерять теплоемкость только через 25 К и предельная температура измерения составляет 673 К. Продолжительность измерений во всем интервале температур обработки экспериментальных данных составляла около 2,5 ч. Предел допускаемой погрешности прибора по паспортным данным составляет  $\pm 10\%$  [7]. Градуировка прибора осуществлялась на основании определения тепловой проводимости тепломера  $K_T$  [7, 8] Для этого были проведены эксперименты с медным образцом и пустой ампулой. При каждой температуре (через 25 К) проводились по пять параллельных опытов, результаты которых усреднялись и обрабатывались методами математической статистики.

Корректность работы прибора была подтверждена путем измерения теплоемкости  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$  (квалификация «ч.д.а.», ТУ 6.09-426-75). В процессе градуировки и последующей проверки проводились повторные измерения в диапазоне 298–673 К с шагом 25 К, каждое из которых выполнялось пять раз. Усредненные результаты обработаны методами математической статистики. Результаты наших исследований по температурной зависимости теплоемкости  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$  удовлетворительно согласуются с результатами [9] в пределах точности работы калориметра ИТ-С-400.

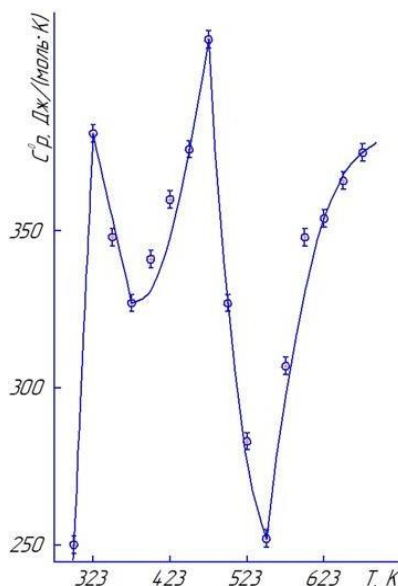
Для расчета мольной теплоемкости использовали удельную теплоемкость с учетом молярной массы. Для удельной теплоемкости оценивалось среднеквадратичное отклонение ( $\bar{\delta}$ ), а для мольной теплоемкости рассчитывалась ( $\bar{\Delta}$ ) - случайная погрешность.

В ходе исследований систематическая погрешность и температурные ошибки не учитывались, поскольку их влияние оказалось пренебрежимо малым по сравнению со случайной составляющей. Согласно теории ошибок, если величина случайной погрешности значительно превышает сумму систематической и шкальной погрешности прибора, точность измерений определяется именно случайной ошибкой. В таких случаях вместо предельной погрешности используют случайную погрешность [10, 11].

В таблице 1 и на рисунке 1 приведены экспериментальные значения теплоемкости  $\text{LaMgCuVMnO}_{7.5}$ .

**Таблица 1 – Экспериментальные значения теплоемкости купрато-ванадато-манганита  $\text{LaMgCuVMnO}_{7.5}$  [ $C_p \pm \bar{\delta}$ , Дж/(К·г);  $C_p^0 \pm \Delta$ , Дж/(моль·К)]**

T, К	$C_p \pm \bar{\delta}$	$C_p^0 \pm \Delta$	T, К	$C_p \pm \bar{\delta}$	$C_p^0 \pm \Delta$
298.15	0,5531±0,0084	250±11	498	0,7227±0,0077	327±10
323	0,8423±0,0034	381±4	523	0,6250±0,0064	283±8
348	0,7680±0,0081	341±10	548	0,5560±0,0050	252±6
373	0,7217±0,0057	327±7	573	0,6784±0,0074	307±9
398	0,7526±0,0054	341±7	598	0,7690±0,0086	348±11
423	0,7942±0,0082	360±10	623	0,7822±0,0066	354±8
448	0,8297±0,0049	376±6	648	0,8078±0,0085	366±11
473	0,9085±0,0091	411±11	673	0,8275±0,0094	375±12



**Рисунок 1 – Температурная зависимость теплоемкости  $\text{LaMgCuVMnO}_{7.5}$**

На температурной зависимости теплоемкости  $\text{LaMgCuVMnO}_{7.5}$  выявлены  $\lambda$ -образные эффекты при 323 и 473 К, относящиеся к фазовым переходам II-рода. Эти фазовые переходы, вероятно, обусловлены эффектами Шотки, переходом из полупроводниковой проводимости к металлической, а также с изменениями емкости, диэлектрической проницаемости, сегнетоэлектрическими переходами: точки Кюри, Нееля и др.

С учетом температуры фазового перехода выведены уравнения, описывающие зависимости  $C_p^0 \sim f(T)$  для  $\text{LaMgCuVMnO}_{7.5}$  (1 - 5):

$$C_p^0 = - (1310 \pm 34,98) + (5237,2 \pm 139,83) \cdot 10^{-3}T, \quad (298,15-323 \text{ K}), \quad (1)$$

$$C_p^0 = (734 \pm 19) - (1092,2 \pm 29,2) \cdot 10^{-3}T, \quad (323-373 \text{ K}), \quad (2)$$

$$C_p^0 = - (1500 \pm 40) + (3216,5 \pm 85,9) \cdot 10^{-3}T + (872,37 \pm 23,29) \cdot 10^5 T^{-2}, \quad (373-473 \text{ K}), \quad (3)$$

$$C_p^0 = - (4837 \pm 129) + (6025,8 \pm 160,8) \cdot 10^{-3}T + (5365,63 \pm 143,17) \cdot 10^5 T^{-2}, \quad (473-548 \text{ K}), \quad (4)$$

$$C_p^0 = (2657 \pm 71) - (2220,47 \pm 59,2) \cdot 10^{-3}T - (3569,17 \pm 95,23) \cdot 10^5 T^{-2}, \quad (548-673 \text{ K}). \quad (5)$$

Из-за ограниченной технической возможности калориметра стандартную энтропию  $S^0(298,15)$  исследуемого купрато-ванадато-манганита рассчитывали с использованием систем ионных энтропийных инкрементов [12]. Затем, на основании экспериментальных данных по теплоемкостям и расчетным значениям по стандартной энтропии вычислили температурные зависимости  $C^0(T)$  термодинамических функций соединения  $S^0(T)$ ,  $H^0(T)-H^0(298,15)$ ,  $\Phi^{xx}(T)$  (таблица 2).

Погрешности температурной зависимости термодинамических функций определяли с учетом средней случайной погрешности теплоемкости и точности расчета стандартной энтропии (~3%).

**Таблица 2 – Температурные зависимости термодинамических функций купрато-ванадато-манганита  $\text{LaMgCuVMnO}_{7.5}$  [ $C^0(T)$ ,  $S^0(T)$ ,  $\Phi^{xx}(T)$ , Дж/(моль·К);  $H^0(T)-H^0(298,15)$ , Дж/моль]**

T, K	$C_p^0(T) \pm \Delta$	$S^0(T) \pm \Delta$	$H^0(T)-H^0(298,15) \pm \Delta$	$\Phi^{xx}(T) \pm \Delta$
298.15	250±7	255±8	-	255±14
300	261±7	256±15	510±10	255±14
325	392±10	283±16	8670±230	256±14
350	352±9	310±18	17810±470	259±15
375	324±9	333±19	26250±700	263±15
400	332±9	354±20	34460±920	268±15
425	350±9	375±21	42950±1150	274±16
450	378±10	396±22	52040±1390	280±16
475	414±11	417±24	61930±1650	287±16
500	322±8	435±25	70920±1890	293±17
525	273±7	450±25	78290±2090	301±17
550	251±7	462±26	84790±2260	308±17
575	301±8	474±27	917730±2450	315±18
600	333±9	488±28	997210±2660	321±18
625	355±9	502±28	108350±2890	328±18
650	369±10	516±29	1174210±3130	335±19
675	375±10	530±30	1267320±3380	342±19

С целью уточнения природы обнаруженных фазовых переходов II рода были проведены электрофизические исследования  $\text{LaMgCuVMnO}_{7.5}$  в температурном диапазоне 293 - 483 К с шагом 10 К (табл. 3). Измерения выполнены на приборе LCR-781 (Тайвань) при частоте 1 кГц, что обеспечило высокую точность и воспроизводимость результатов [14-16]. Согласно паспортным данным, погрешность измерений относительной диэлектрической проницаемости ( $\epsilon$ ) и электросопротивления ( $R$ ) составляет всего  $\pm 0,05$  %, что свидетельствует о достоверности полученных данных. Дополнительную верификацию обеспечил сравнительный анализ с эталонным веществом  $\text{BaTiO}_3$ : полученное при 293 К значение  $\epsilon$  (1296) находится в пределах рекомендованного диапазона ( $1400 \pm 250$ ) [17-20], подтверждая корректность методики измерений.

**Таблица 3 – Результаты электрофизических исследований  $\text{LaMgCuVMnO}_{7.5}$  ( $\Delta T = 293\text{-}483$  К, частота 1 кГц,  $C$  – емкость,  $R$  – электросопротивление,  $\epsilon$  – диэлектрическая проницаемость)**

T, К	C, nF	R, Ом	$\epsilon$	$\lg\epsilon$	$\lg R$
293	12,293	62780	141558	5,15	4,80
303	19,034	37960	219183	5,34	4,58
313	29,28	23810	337169	5,53	4,38
323	39,315	17550	452726	5,66	4,24
333	46,42	14410	534542	5,73	4,16
343	41,407	17390	476816	5,68	4,24
353	37,371	24810	430340	5,63	4,39
363	41,481	31320	477668	5,68	4,50
373	59,063	34110	680131	5,83	4,53
383	108,99	33370	1255058	6,10	4,52
393	224,25	28600	2582317	6,41	4,46
403	510,12	22060	5874209	6,77	4,34
413	953,41	17380	10978848	7,04	4,24
423	1755,6	13490	20216345	7,31	4,13
433	2863,9	10940	32978805	7,52	4,04
443	4392,4	8958	50580014	7,70	3,95
453	8148,7	6705	93835115	7,97	3,83
463	12542	5536	144425492	8,16	3,74
473	23491	4148	270507035	8,43	3,62
483	39044	3257	449605240	8,65	3,51

Электрофизические исследования  $\text{LaMgCuVMnO}_{7.5}$  в диапазоне 293-483 К выявили резкое увеличение диэлектрической проницаемости и одновременное снижение электросопротивления вблизи температур 323 и 473 К, что хорошо коррелирует с аномалиями теплоемкости. Это свидетельствует о комплексной природе наблюдаемых фазовых переходов, вероятно обусловленных сегнетоэлектрическими эффектами, изменением типа электропроводности и возможными эффектами Шоттки.

### Выводы

В интервале температур 298,15-673 К впервые исследована теплоемкость купрато-ванадата-манганита  $\text{LaMgCuVMnO}_{7.5}$  на калориметре ИТ-С-400 с предварительной градуировкой и проверкой корректности методики по стандартному образцу  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ , что

подтвердило достоверность полученных результатов в пределах паспортной точности прибора. Установлено, что температурная зависимость  $C_p$  имеет немонотонный характер и сопровождается  $\lambda$ -образными аномалиями при 323 и 473 К, соответствующими фазовым переходам II рода. Для отдельных температурных интервалов получены уравнения  $C_p \sim f(T)$ . На основе экспериментальных данных по теплоёмкости и расчётного значения стандартной энтропии определены температурные зависимости термодинамических функций  $S^\circ(T)$ ,  $H^\circ(T) - H^\circ(298,15)$  и  $\Phi^{xx}(T)$ . Электрофизические исследования выявили резкое увеличение диэлектрической проницаемости и снижение электросопротивления вблизи температур фазовых переходов, что подтверждает их комплексную природу.

*Данное исследование проводилось в рамках программы BR23991563 «Создание инновационных ресурсосберегающих технологий добычи и комплексной переработки минерального и техногенного сырья», финансируемой Комитетом промышленности Министерства промышленности и строительства Республики Казахстан на 2024-2026 г.г.*

### Источники

- 1 Goodenough J.B. Magnetism and the Chemical Bond. – New York: Wiley, 1963. – 394 p.
- 2 Salamon M., Jaime M. The physics of manganites: Structure and Transport. //Rev. Mod. Phys. – 2001. – Vol. 73, Issue 3. – P. 583-628. DOI:[10.1103/RevModPhys.73.583](https://doi.org/10.1103/RevModPhys.73.583)
- 3 Dagotto E. Complexity in strongly correlated electronic systems. //Science. – 2005. – Vol. 309, Issue 5732. – P. 257-262. DOI:[10.1126/science.1107559](https://doi.org/10.1126/science.1107559)
- 4 Millis A.J. Lattice effects in manganites. //Nature, 1998 – Vol. 392. – P. 147–150.
- 5 Yang H. D., Huang H. L., Ho P. L., Huang W. L., Huang C. W., Mollah S., Liu S. J., Jiunn-Yuan Lin. Specific heat studies on the charge and magnetic ordering in manganites. //Phys. B: Condensed Matter. – 2003. – Vol. 329-333, Part 2. – P. 801-802. [https://doi.org/10.1016/S0921-4526\(02\)02562-0](https://doi.org/10.1016/S0921-4526(02)02562-0)
- 6 Zhang Y., Chen W. Thermodynamics of perovskite oxides. //Progress in Materials Science. – 2018. – Vol. 98. – P. 1 – 67. DOI: [10.1016/j.pmatsci.2018.05.003](https://doi.org/10.1016/j.pmatsci.2018.05.003)
- 7 Техническое описание и инструкции по эксплуатации ИТ-С-400. – Актюбинск. Актюбинский завод «Эталон», 1986. – 48 с.
- 8 Платунов Е.С., Буравой С.Е., Курепин В.В., Петров Г.С. Теплофизические измерения и приборы. – Л.: Машиностроение, 1986. – 256 с.
- 9 Бодряков В.Ю., Быков А.А. Корреляционные характеристики температурного коэффициента объемного расширения и теплоемкости корунда. //Стекло и керамика. – 2015. – № 2. – С. 30.
- 10 Спиридонов В.П., Лопаткин Л.В. Математическая обработка экспериментальных данных. – М.: Изд-во МГУ, 1970. – 221 с.
- 11 Дамаскин Б.Б., Петрий О.А., Подловченко Б.И. и др. Практикум по электрохимии. – М.: Высшая школа, 1991. – 288 с.
- 12 Кумок В.Н. Проблема согласования методов оценки термодинамических характеристик // В сб.: Прямые и обратные задачи химической термодинамики. – Новосибирск: Наука, 1987. – С. 108.
- 13 Буй М.Т. Исследование температурных зависимостей электрофизических свойств сегнетоэлектрических материалов. Дисс...канд. физ.-мат. наук. Санкт-Петербург, Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет. 2019. – 143 с.
- 14 Окадзаки К. Технология керамических диэлектриков. М.: Энергия, 1976. – 327 с.
- 15 Руководство по эксплуатации. Измеритель RLC (LCR-781). М.: ЗАО «ПриСТ», 2012. – С. 3.
- 16 Kasenov V.K., Kasenova Sh.B., Sagintaeva Zh.I., Kuanyshbekov E.E., Mukhtar A.A.

Thermodynamic and Electrophysics of New LaCaCuZnMnO<sub>6</sub> Copper – Zinc Manganite of Lanthanum and Calcium // High Temperature. 2022. – Vol. 60. № 4. – P. 474-478.

- 17 Фесенко Е.Г. Семейство перовскита и сегнетоэлектричество. М.: Атомиздат, 1972. – 248 с.
- 18 Веневцев Ю.Н., Политова Е.Д., Иванов С.А. Сегнето- и антисегнетоэлектрики семейства титаната бария. М.: Химия, 1985. – 256 с.
- 19 Лайнс М., Гласс А. Сегнетоэлектрики и родственные им материалы. М.: Мир, 1981. – 736 с.

УДК 536.63+537.311+546.657:41:74:711

## КАЛОРИМЕТРИЧЕСКОЕ И ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ НИКЕЛИТО-МАНГАНИТА НЕОДИМ КАЛЬЦИЯ

**Касенов Б.К., Касенова Ш.Б., Сагинтаева Ж.И., Куанышбеков Е.Е., Турдиев М.Т.**

*Филиал РГП «НЦ КИМС РК» «ХМИ им. Ж. Абишева», г. Караганда, Казахстан*

Полупроводниковые материалы являются ключевой основой современной электроники, информационных технологий, сенсорных систем и энергетических устройств. Особую актуальность приобретают комплексные исследования, направленные на установление взаимосвязи между структурными, термодинамическими и электрофизическими свойствами полупроводников, что позволяет целенаправленно оптимизировать их функциональные параметры.

Целью работы является исследование калориметрических и электрофизических свойств никелито-манганита неодима-кальция и анализ их взаимосвязи.

В интервале температур 298,15–673 К с использованием калориметра ИТ-С-400 была исследована температурная зависимость теплоемкости никелито-манганита  $NdCa_2NiMnO_6$ . Принцип работы прибора, а также методики его градуировки и оценки точности измерений подробно изложены в работе [1]. В таблице 1 приведены результаты экспериментов теплоемкости.

**Таблица 1 – Экспериментальные значения теплоемкости  $NdCa_2NiMnO_6$  [ $C_p \pm \delta$ , Дж/(К·г);  $C_p^0 \pm \Delta$ , Дж/(моль·К)]**

Т, К	$C_p \pm \delta$	$C_p^0 \pm \Delta$	Т, К	$C_p \pm \delta$	$C_p^0 \pm \Delta$
298.15	0.5530±0.0097	240±12	498	0.5998±0.0133	260±16
323	0.6636±0.0122	288±15	523	0.4943±0.0121	215±15
348	0.8021±0.0078	348±9	548	0.4089±0.0085	177±10
373	0.5455±0.0135	237±16	573	0.4991±0.0097	217±12
398	0.6012±0.0115	261±14	598	0.5780±0.0147	251±18
423	0.6443±0.0142	280±17	623	0.6825±0.0066	296±8
448	0.6653±0.0137	289±17	648	0.7400±0.0099	321±12
473	0.6835±0.0160	297±19	673	0.8073±0.0105	350±13

Анализ полученной зависимости  $C_p^0$  (Т) показал наличие выраженной аномалии теплоемкости: с повышением температуры наблюдаются резкие скачки, сопровождающиеся  $\lambda$ -образными пиками на кривой  $C_p^0 \sim f(T)$ . Обнаруженные аномалии, вероятно, обусловлены фазовыми переходами второго рода, реализующимися при температурах около 348 и 473 К. С учетом выявленных температур фазовых переходов рассчитаны уравнения зависимостей  $C_p^0 \sim f(T)$ , [Дж/(моль·К)]:

$$C_p^0 = - (404,3 \pm 21,3) + (2162,2 \pm 114,2) \cdot 10^{-3} T, \quad (298-348 \text{ К})$$

$$C_p^0 = (1898,7 \pm 100,2) - (4453,6 \pm 235,2) \cdot 10^{-3} T, \quad (348-373 \text{ K})$$

$$C_p^0 = (950,3 \pm 50,2) - (870,9 \pm 46,0) \cdot 10^{-3} T - (540,8 \pm 28,6) \cdot 10^5 T^{-2}, \quad (373-473 \text{ K})$$

$$C_p^0 = (1048,3 \pm 55,4) - (1589,1 \pm 83,9) \cdot 10^{-3} T, \quad (473-548 \text{ K})$$

$$C_p^0 = (923,4 \pm 48,8) - (253,3 \pm 13,4) \cdot 10^{-3} T - (1823,2 \pm 96,3) \cdot 10^5 T^{-2}. \quad (548-673 \text{ K})$$

$S^0(298,15)$   $\text{NdCa}_2\text{NiMnO}_6$  оценили с использованием системы ионных энтропийных инкрементов. На основании опытных данных по  $C_p^0 \sim f(T)$  и расчетных значений  $S^0(298,15)$  вычислены  $C_p^0(T)$  и функции  $S^0(T)$ ,  $H^0(T) - H^0(298,15)$ ,  $\Phi^{xx}(T)$ .

На установке LCR (Тайвань) в интервале 293–483 К и при частотах, равных 1 кГц, 5 кГц и 10 кГц исследованы температурные зависимости электросопротивления и диэлектрической проницаемости. В интервале температур 293–353 К наблюдается уменьшение сопротивления с ростом температуры, что сопровождается увеличением диэлектрической проницаемости, при дальнейшем повышении температуры проявляются аномалии в поведении  $R(T)$  и  $\varepsilon(T)$ , выражающиеся в изменении наклонов зависимостей  $\lg R(T)$  и  $\lg \varepsilon(T)$ , что может свидетельствовать о перестройке механизмов переноса заряда и наличии фазовых превращений (табл. 2).

**Таблица 2 – Результаты электрофизических измерений**

T, К	R, Ом	$\varepsilon$	$\lg \varepsilon$	$\lg R$	T, К	R, Ом	$\varepsilon$	$\lg \varepsilon$	$\lg R$
293	867100	4012	3,60	5,94	393	1120000	4674	3,67	6,05
303	342100	11042	4,04	5,53	403	1091000	5425	3,73	6,04
313	239900	17097	4,23	5,38	413	1014000	6497	3,81	6,01
323	204900	21891	4,34	5,31	423	899500	8603	3,93	5,95
333	178100	27976	4,45	5,25	433	694600	14593	4,16	5,84
343	152700	35618	4,55	5,18	443	546400	23764	4,38	5,74
353	133900	40720	4,61	5,13	453	476600	32443	4,51	5,68
363	163200	31573	4,50	5,21	463	377500	49915	4,70	5,58
373	615500	7766	3,89	5,79	473	341500	58297	4,77	5,53
383	1020000	4453	3,65	6,01	483	257900	99305	5,00	5,41

Наблюдаемые аномалии температурной зависимости электрического сопротивления коррелируют с  $\lambda$ -образными пиками теплоемкости, что указывает на взаимосвязь электрофизических свойств с фазовыми переходами второго рода. В целом характер температурных зависимостей электрических параметров подтверждает принадлежность никелито-манганита  $\text{NdCa}_2\text{NiMnO}_6$  к классу полупроводниковых оксидных материалов.

*Работа выполнена в рамках грантового финансирования Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (Грант № AP23486147).*

**Источник**

- 1 Kasenova Sh.B., Sagintaeva Zh.I., Kasenov B.K., Kuanyshbekov E.E., Ordabaeva A.T., Isabaeva M.A. Heat Capacity and Thermodynamic Characteristics of Sodium and Potassium Nickelite-Manganites of Neodymium of  $\text{NdNa}_2\text{NiMnO}_5$  and  $\text{NdK}_2\text{NiMnO}_5$  //Applied Sciences, 2025, 15, 6751. <https://doi.org/10.3390/app15126751>

УДК 669.168

## РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ВЫПЛАВКИ КОМПЛЕКСНОГО СПЛАВА АХС (АЛЮМИНИЙ-ХРОМ-КРЕМНИЙ)

Мусина И.Б., Акуов А.М., Избембетов Д.Д., Байсанов А.С., Воробкало Н.Р.,  
Байсанова А.М.

*Филиал РГП «НЦ КПМС РК» «ХМИ им. Ж. Абишева», г. Караганда, Казахстан*

АХС – комплексный алюминий-хром-кремнийсодержащий сплав, получаемый электротермической плавкой бедной хромовой руды с полным восстановлением всех оксидов руды с применением в качестве восстановителя высокозольных углей.

Снижение запасов высококачественных хромовых руд, глубокое залегание рудных тел и накопление объема низкокачественной руды, не имеющей технологического вовлечения в процесс дальнейшей переработки, может рассматриваться как комплексное сырье, так как в этом случае, наряду с хромом дополнительно производятся кремний и алюминий, которые в большинстве случаев так или иначе необходимо вводить в сталь при раскислении и использовать такой сплав в производстве ферросплавов.

Высокозольные угли и углистые породы представляют собой моношихту, в которой минеральная часть ( $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$ )  $\geq 90\%$  тесно связана с углеродистой частью, что обеспечивает значительное увеличение скорости процесса восстановления. Установлено, что углистые массы в породах сложены в виде крупных агрегатов или прослоек попеременно с глинистыми частицами, состоящими из оксидов кремния и алюминия, железо находится в виде самостоятельной фазы.

На основании проведенных многолетних исследований в Химико-металлургическом институте им. Ж.Абишева, углистые породы зольностью 45-60%, обладающие высокой температурой размягчения и плавления, оказались наиболее технологичными для выплавки кремнеалюминийсодержащих сплавов.

В связи с интенсификацией процессов выплавки стали все большее распространение получает практика раскисления и легирования металла в ковше (внепечным способом) при выпуске его из печи. При производстве хромистых сталей в ковш дают также такой относительно тугоплавкий сплав, как феррохром. Тем не менее, при раскислении, а особенно при легировании в ковше отдают предпочтение сплавам с более низкими температурами плавления. Дополнительное снижение температуры плавления хромсодержащих ферросплавов может быть достигнуто благодаря введению в состав сплавов системы железо-хром-кремний и малого содержания алюминия.

Освоение ферросплавной промышленностью технологии производства указанного сплава позволит обеспечить повышение производительности ферросплавных заводов, в результате сокращения технологического цикла, позволит более рационально использовать низкокачественные хромовые руды. Важным является и то обстоятельство, что при этом отпадает необходимость использования высококачественной хромовой руды (или концентрата) и дефицитного кокса в производстве ферросплавов, так как для выплавки комплексного алюминий-хром-кремнийсодержащего сплава (АХС) пригодны высокозольные угли.

Как известно, что производство рафинированного феррохрома осуществляется многостадийным процессом, включающим в себя выплавку передельного феррохрома, ферросиликохрома (ФСХ) и его рафинирование хромовой рудой. Состав ФСХ определяется его назначением. При производстве низко- и среднеуглеродистого феррохрома используется ФСХ, содержащий 30 и менее процентов кремния, тогда как для безуглеродистого феррохрома применяют ФСХ с 50% кремния. Современное производство ФСХ основано на применении богатых хромовых руд, содержание оксида

хрома в которых превышает 45%. Сокращение добычи богатой хромовой руды и повышение спроса на сырье явились предпосылками к возобновлению работ по получению алюминийхромкремнийсодержащего сплава (АХС) из некондиционных хромовых руд Кемпирсайского месторождения. Технология получения комплексного сплава АХС, ранее разработанная сотрудниками лаборатории ферросплавов и процессов восстановления Химико-металлургического института [1, 2], как отмечено выше, что в основном была направлена на применение этого сплава для раскисления и легирования стали. В настоящее время, принимая во внимание опыт существующей технологии, проводятся испытания по получению сплава АХС с целью замены им ферросиликохрома в рафинировочных процессах. Получаемый комплексный сплав отличается от ФСХ наличием до 10% алюминия, который характеризуется более высокой восстановительной способностью по сравнению с кремнием.

Бедные труднообогатимые хромовые руды можно рассматривать как комплексное сырье, так как наряду с хромом извлекаются кремний и алюминий. В качестве восстановителя оксидов хромовой руды рационально использовать высокозольный каменный уголь. Способ получения комплексного сплава АХС заключается в полном восстановлении оксидов руды и минеральной части золы угля. Такой метод ведения плавки способствует высокому коэффициенту использования компонентов шихты, а применение низкосортных руды и угля позволяет получить сплав с низкой себестоимостью. Технология получения сплава позволяет не только снизить себестоимость продукции, но и повысить качество сплава путем стабилизации хода процесса и повышения производительности печи за счет высокого электросопротивления применяемых углей, обеспечивающего глубокую посадку электродов плавильной печи. Зола угля, состоящая преимущественно из кремнезема и глинозема, восстанавливаясь одновременно с оксидами руды, является дополнительным источником получения в сплаве кремния и алюминия.

Для обоснования возможности рудно-термической плавки бедных хромовых руд был проведен термодинамический анализ совместного восстановления оксидов хрома, кремния и алюминия, а также изучена восстановимость оксидов бедной хромовой руды и золы угля.

На основании проведенных исследований подготовлены и проведены лабораторные опыты по выплавке сплава АХС. Результаты этих испытаний положены в основу крупно-лабораторных исследований по выплавке данного комплексного сплава.

Испытания проводили в крупно-лабораторной однофазной рудно-термической печи с графитовой проводящей подиной мощностью 200 кВА. Питание электропечи осуществлялось от трансформатора ОМУ-20, имеющего 4 ступени вторичного напряжения. Первую часть опытной кампании проводили с использованием в шихте бедной хромовой руды и экибастузского высокозольного угля. Химический состав шихтовых материалов приведен в таблице 1. Процесс плавки непрерывный. Продолжительность кампании – 5 суток.

**Таблица 1 – Химический состав шихтовых материалов, %**

Наименование	A	V	W	S	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	CaO	MgO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	ппп
Бедная хромовая руда	-	-	2,3	0,01	35,2	16,3	8,38	7,44	0,92	26,7	0,05	4,5
Высокозольный уголь	47,3	16,4	2,8	0,62	-	62,19	28,79	2,72	0,9	2,15	0,16	-

Шихта рассчитывалась с учетом полного восстановления оксидов руды и минеральной части угля. Корректировку шихты производили изменением навески руды. Фракция хромовой руды – 0-10 мм, угля – 10-50 мм.

Начало кампании характеризовалось хорошими выпусками горячего металла и легкой разделки летки. К середине процесса работа печи ухудшилась: уровень подины поднялся, траектория разделывания летки стала уходить вверх, металл выходил вязко, чувствовался запах образующихся карбидов. С целью стабилизации процесса была снижена навеска руды, что способствовало «посадке» электрода и снижению уровня дна тигля. Средний химический состав выплавленного сплава: 41-43% Cr; 30-33% Si; 4-5% Al; 19-21% Fe; 0,7-1,0% Mg; 0,15-0,18% P; 1,2-1,4% C; следы S.

Вторая часть опытной кампании по получению комплексного сплава АХС была проведена в тех же условиях с вовлечением в шихту богатой хромовой руды фракции 0-10 мм и высокозольного угля – 10-50 мм. Продолжительность испытаний – 6 суток при непрерывном процессе работы печи. Химический состав шихтовых материалов приведен в таблице 2.

Начальная серия выпусков проходила хорошо. К концу третьих суток работа печи незначительно ухудшилась, подина слегка поднялась, металл начал выходить вяло и имел запах, присущий разложению карбидов. С целью разрушения образующихся карбидов была увеличена навеска руды. Это послужило процессу «посадки» электродов и бурному сходу горячего металла.

**Таблица 2 – Химический состав шихтовых материалов, %**

Наименование	A	V	W	S	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	P	ппп
Богатая хромовая руда	-	-	0,43	0,01	49,3	16,2	4,31	10,7	0,92	18,15	0,007	6,3
Высокозольный уголь	52,1	14,2	2,6	0,75	-	58,97	28,28	2,29	0,9	2,15	0,3	-

Средний состав полученного сплава, %: Cr – 40-41; Si – 22-23; Al – 13-15; Mg – 0,4-0,6; P – 0,1-0,12; C – 2,4-2,7; Fe – ост.; S – следы.

Проведенными испытаниями показана принципиальная возможность выплавки комплексного сплава АХС из бедной и богатой хромовой руды и высокозольного угля одностадийным бесшлаковым карботермическим способом. При этом также было достигнуто полное карботермическое восстановление магния из руды и его возгонка, установлена возможность последующей конденсации и улавливания элементарного магния в холодных зонах колошника печи в жидком виде. Как показали опытные кампании, что удельный расход электроэнергии повышен, который составил 11000-12000 кВт·ч/т. Высокий удельный расход электроэнергии связан с большими теплотерями крупно-лабораторной печи. В реальных промышленных условиях удельный расход электроэнергии не должен превышать указанной величины.

*Данное исследование проводилось в рамках программы BR23991563 «Создание инновационных ресурсосберегающих технологий добычи и комплексной переработки минерального и техногенного сырья», финансируемой Комитетом промышленности Министерства промышленности и строительства Республики Казахстан.*

**Источники**

- 1 Свядковская Е.Ф. Разработка и исследование метода переработки руд с низким содержанием хрома: дисс. ... канд. техн. наук.: 05.16.02. – Караганда: ХМИ, 1968. – 142 с.
- 2 Свядковская Е.Ф., Медведев Г.В., М
- 3 ихайлов В.В. и др. Получение рафинированного феррохрома на базе алюмосиликохрома, выплавленного из рядовой хромовой руды и экибастузского угля // Сб. науч. тр. всесоюзн. совещания ферросплавщиков. – М., 1963. – Т. 32. – С. 92.

УДК 629.17

## ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИКИ И УСЛОВИЙ ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ ХРИЗОТИЛ-АСБЕСТОВЫХ ОТХОДОВ

Мухаметжанова А.А., Шаяхметова Р.А., Рахым А.Б.

*РГП «НЦ КИМС РК», г. Алматы, Казахстан*

Одним из перспективных направлений переработки хризотил-асбестовых отходов Житикаринского месторождения является получение синтетического бишофита, обеспечивающее импортозамещение, снижение экологической нагрузки и формирование новой сырьевой базы хлормagneиeвых продуктов.

Целью данного исследования является изучение кинетики солянокислотного выщелачивания хризотил-асбестовых отходов с целью установления механизма процесса и определения лимитирующей стадии.

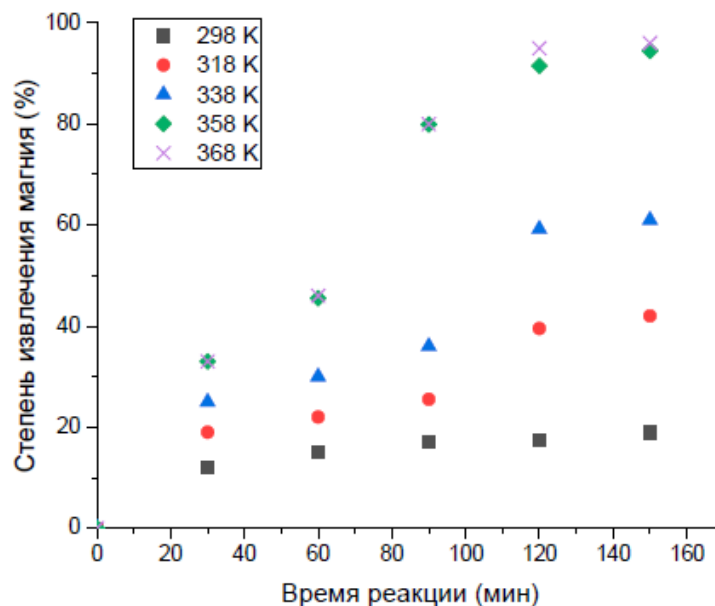
Для достижения поставленной цели в работе проведено исследование кинетики солянокислотного выщелачивания хризотил-асбестовых отходов с установлением лимитирующей стадии процесса и расчётом энергии активации.

Расчёт кинетических параметров, включая энергию активации, позволяет установить механизм протекания процесса выщелачивания – диффузионный либо химически контролируемый. Эксперименты проводились при температурах 25, 45, 65, 85 и 95 °С при неизменных остальных параметрах процесса (концентрация соляной кислоты, крупность частиц, интенсивность перемешивания и соотношение Т/Ж) [1]. Для каждого температурного режима отбор проб осуществлялся через заданные интервалы времени (30, 60, 90, 120 и 150 мин) с последующим построением зависимостей степени извлечения магния от продолжительности выщелачивания. Результаты исследования влияния температуры и времени процесса, полученные в лабораторном стакане с лопастной мешалкой, приведены в таблице 1.

**Таблица 1 – Влияние продолжительности и температуры на процесс выщелачивания в лабораторном реакторе (Т: Ж=1:3; HCl = 100% от стехиометрии, концентрация HCl – 18%;  $\omega$ =10 об/мин)**

Т, °С	Степень извлечения Mg в раствор, %				
	30 мин	60 мин	90 мин	120 мин	150 мин
25	12,0	15,0	17,0	17,5	19,0
45	19,0	22,0	25,5	39,5	42,0
65	25,0	30,0	36,0	59,2	61,0
85	33,0	45,5	79,9	95,5	94,5
95	33,0	46,0	80,0	95,7	96,0

На рисунке 1 представлены кинетические кривые выщелачивания магния при различных температурах. Установлено, что степень извлечения Mg закономерно возрастает с увеличением времени контакта твердой фазы с кислотным раствором. Рост извлечения продолжается до 120 мин, после чего процесс практически стабилизируется, что позволяет рассматривать данную продолжительность как оптимальное время реакции.



**Рисунок 1 – Влияние температуры и времени реакции на выщелачивание магния в лабораторном реакторе (Т:Ж = 1:3; HCl = 100% от стехиометрии, концентрация HCl - 18%;  $\omega = 10$  об/мин)**

Анализ кинетических зависимостей также показал существенное влияние температуры на эффективность выщелачивания. При температуре 25 °C степень извлечения магния не превышает 19 %, тогда как повышение температуры до 85 °C обеспечивает почти полное извлечение Mg – до 95 %. Дальнейшее увеличение температуры до 95 °C не приводит к заметному росту извлечения, в связи с чем температурный интервал 85–90 °C выбран как наиболее рациональный и энергетически целесообразный для процесса выщелачивания магния.

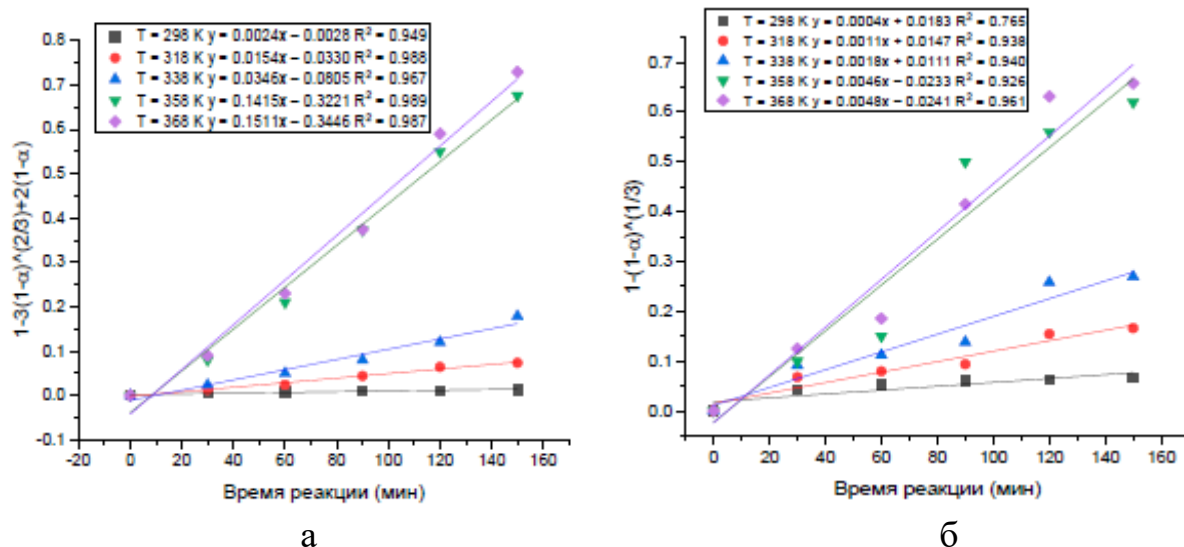
Для определения кинетических параметров и управления этапами процесса выщелачивания к данным, представленным на рисунке 1, была применена модель сжимающегося ядра (SCM), которая наиболее часто используется для описания кинетики процессов выщелачивания [2]. Поскольку частицы ХАО не разрушаются в экспериментальных условиях в реакторе, то была использована SCM при постоянном размере частиц. Уравнения для процессов, контролируемых диффузией (1) и химической реакцией (2), выражаются следующим образом:

$$1 - \alpha = kdt,$$

$$1 - (1 - \alpha)^{1/3} = kMBDCa\rho V r_0^2 t = krt,$$

где  $\alpha$  – часть прореагировавшего вещества,  $k$  – кинетическая константа,  $M_b$  – молекулярная масса,  $C_A$  – концентрация кислоты,  $a$  – стехиометрический коэффициент реагента в реакции,  $r_0$  – начальный радиус частицы,  $t$  – время реакции,  $\rho_v$  – плотность твердого тела,  $D$  – коэффициент диффузии в пористых слоях продукта,  $k_d$  и  $k_r$  – константы скорости диффузии и химической реакции, соответственно.

Результаты расчётов экспериментальных данных по уравнениям (1) и (2) представлены на рисунке 2.

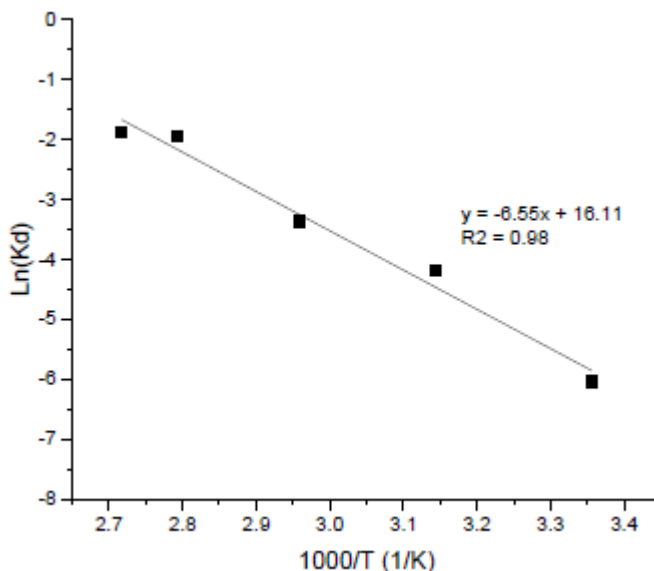


(а) диффузионная модель, (б) модель химической реакции

**Рисунок 2 – График применения SCM при различных температурах (Т:Ж = 1:3; HCl = 100% от стехиометрии, концентрация HCl -18%; ω=10 об/мин)**

Наблюдается хорошая корреляция между экспериментальными данными и уравнением (1), что указывает на то, что кинетика выщелачивания может быть описана моделью SCM с контролем диффузии в слое твердого продукта [2].

Для расчёта энергии активации (по уравнению Аррениуса) использованы данные начальных скоростей или время достижения определённой конверсии при разных температурах. График Аррениуса (рисунок 3) был построен на основе констант скорости, полученных из наклонов линейных уравнений на рисунке 2а. График, отражающий зависимость  $\ln k_e$  от  $1000/T$ , позволил определить энергию активации процесса, которая составила  $54,4 \text{ кДж}\cdot\text{моль}^{-1}$ .

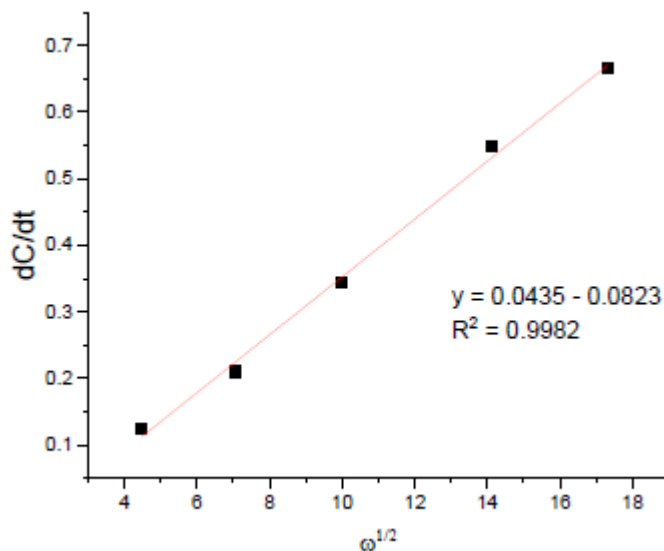


**Рисунок 3 – График Аррениуса для процесса выщелачивания (Т/Ж = 1/3; HCl = 100% от стехиометрии, концентрация HCl – 18%; ω=10 об/мин)**

Низкие значения  $E_a$  предполагают, что диффузия может быть стадией, которая контролирует скорость процесса [3]. Это дополнительно подтверждается тем фактом,

что на эффективность выщелачивания влияет температура (рисунок 3). Отсюда следует, что скорость диффузии увеличивается с повышением температуры.

Для подтверждения природы лимитирующей стадии была изучена зависимость скорости выщелачивания частиц ХАО от его продолжительности при различных скоростях перемешивания (рисунок 4). Линейная зависимость в координатах  $dC/dt$  от  $\sqrt{\omega}$  в левой части кривой и ее прохождение через ноль указывает на наличие диффузионного характера процесса [4].



**Рисунок 4 – Зависимость скорости выщелачивания частиц ХАО от его продолжительности при различных скоростях перемешивания**

В результате исследований установлено, что кислотное выщелачивание хризотил-асбестовых отходов протекает по диффузионному механизму с энергией активации 54,4 кДж/моль.

#### Источники

- 1 Magnesium and silicon recovery from chrysotile asbestos waste of the deposit Zhitikara, Kazakhstan. *Sci Rep* 14, 31866 (2024). <https://doi.org/10.1038/s41598-024-83239-0>
- 2 Faraji, Fariborz, Alizadeh, Amirhossein, Rashchi, Fereshteh and Mostoufi, Navid. "Kinetics of leaching: a review" *Reviews in Chemical Engineering*, vol. 38, no. 2, 2022, pp. 113-148. <https://doi.org/10.1515/revce-2019-0073>
- 3 Didyk-Mucha A., Pawlowska A., Sadowski Z. Application of the shrinking core model for dissolution of serpentinite in an acid solution //E3S Web of Conferences. – EDP Sciences. - 2016. – Т. 8. – С. 01035.
- 4 Оспанов Х.К. Термодинамика и кинетика гетерогенных (неравновесных) химических процессов (учебное пособие). Издательство «Комплекс», 2006. – С.121-125.

УДК 662.62

## ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ГОРЕНИЯ НИЗКОСОРТНЫХ УГЛЕЙ ПРИ СЛОЕВОМ СЖИГАНИИ

Мырзалиева С.К., Акильбекова Ш.К., Кабланбеков А.А., Ермишин С.В., Серикбаев П.К.

*РГП «НЦ КПМС РК», г. Алматы, Казахстан*

Сегодня в Казахстане возрос интерес к использованию угольного топлива. Использование угля или продуктов его переработки в малой и средней энергетике требует внедрения новых экологически чистых технологий, поскольку сжигание угля сопровождается выделением большого количества вредных веществ в атмосферу: оксидов серы и азота, являющиеся одной из основных причин возникновения «кислотных дождей». Кроме того, оксиды азота  $\text{NO}_x$ , наряду с  $\text{CO}_2$  участвуют в образовании фотохимического смога и разрушении озонового слоя.

Один из путей снижения вредных выбросов – использование технологии слоевого сжигания. Основным преимуществом слоевого сжигания является возможность сжигания низкосортных, высокозольных углей, угольных шламов, имеющих высокое содержание золы, мелких частиц, а также большое количество влаги.

Горение любого топлива заключается в химической реакции окисления его горючих компонентов с выделением большого количества тепла. Углерод – это основной теплообразующий элемент твердого топлива. При полном его сжигании остается только углекислый газ ( $\text{CO}_2$ ), водяной пар и зола [1].

Когда температура угля подходит к точке воспламенения, начинается горение. На этом этапе из топлива выделяется большое количество летучих соединений – пиролизных газов. Они перемешиваясь с кислородом, вступают бурную реакцию окисления, происходит интенсивное распространение пламени по закладке. Далее начинает гореть основная составляющая твердого топлива – собственно углерод, имеющий примеси минерального состава, – сжигаются угли или кокс. Данная стадия занимает до 2/3 всего времени работы закладки. Горение заканчивается, когда остается одна зола или шлак.

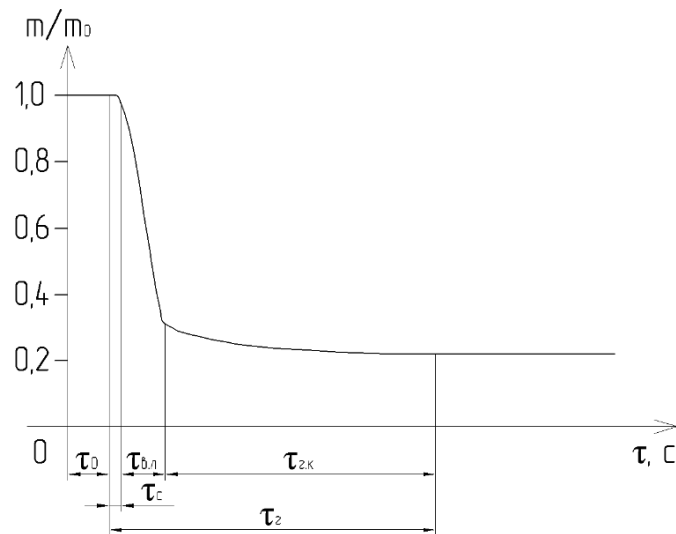
Проведены исследования технологии слоевого сжигания угля, что обусловлено различной эффективностью вариантов ее реализации, прежде всего, по достигнутым уровням удельных выбросов  $\text{NO}_x$  и механического недожога. Это особенно важно из-за сжигания на ТЭС топлива ухудшенного качества или непроектных видов топлива, в том числе и отходов углеобогащения (промпродукта и шлама). Установлено, что уровень снижения выбросов  $\text{NO}_x$  зависит от следующих факторов: избытка первичного воздуха; суммарного избытка воздуха на выходе из топочного устройства и возможности непосредственного контактирования частиц угольной пыли с топочными газами в основании горелочных струй. В свою очередь эти факторы оказывают существенное влияние на надежность зажигания угольной пыли и значение механического недожога, особенно при существенном увеличении влажности и зольности исходного топлива [2].

Основным недостатком слоевого сжигания угля является повышение вероятности роста механического недожога.

Уточнены значения следующих коэффициентов при сжигании в топочном устройстве низкосортного многозольного Экибастузского месторождения угля: коэффициент тепловой эффективности экранов, коэффициент, учитывающий положение максимума температуры пламени, потери тепла от химической и механической неполноты сгорания топлива.

Для определения динамики термического разложения топлива проведены эксперименты по сжиганию одиночных частиц топлива, по которым определялись

скорость выхода летучих газов, время сушки частицы и время горения углерода в топливе. Эксперименты проводились с частицами массой 0,5...1,5 г при температурах 700...900°С.



**Рисунок 1 – Динамика термического разложения топлива**

Из обработки результатов экспериментальных данных предложена следующая формула для расчета времени выгорания Экибастузского угля:

$$m/m_0 = (\alpha T - \beta) \cdot \ln(\tau) - \gamma \cdot T + \varepsilon,$$

где,  $m_0$  – начальная масса частицы, г;  $m$  – текущая масса частицы, г;  $T$  – температура, К;  $\tau$  – текущее время, с.

Коэффициенты  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\varepsilon$  рассчитываются по формулам, предложенным ниже:

$$\alpha = (-0,0002) \cdot m_0 + 0,001,$$

$$\beta = (0,1773) \cdot m_0 + 0,393,$$

$$\gamma = (-0,0010) \cdot m_0 + 0,002,$$

$$\varepsilon = (-0,9580) \cdot m_0 + 2,607.$$

С помощью полученных коэффициентов рассчитывается как полное время выгорания частицы угля, так и время отдельных стадий горения.

Актуальная задача малой тепловой энергетики и приоритетное направление стратегии развития энергетики – энергоресурсосбережение, повышение эффективности работы и модернизация теплоэнергетического оборудования. В сложившейся ценовой политике на рынке энергоресурсов Казахстана наиболее целесообразно использование в качестве топлива низкосортных высокозольных углей Экибастузского месторождения имеющих, однако, ряд очевидных недостатков, таких как высокое влагосодержание и низкая теплота сгорания.

Исследования [3] показали, что: благодаря применению эффективной технологии слоевого сжигания угольного топлива достигается существенное снижение содержания вредных веществ в уходящих газах.

Применение угольных смесей как экологически чистого топлива перспективно, в том числе для продуктов углеобогащения и угольных шламов. Для обеспечения нормативных уровней удельных выбросов  $\text{NO}_x$  на колосниковой решетке топочного устройства со слоевым сжиганием необходимо уменьшить избытки первичного воздуха до значения, исключающего горение летучих в стехиометрическом режиме.

Технология слоевого сжигания существенно позволяет снизить тепловые потери и гарантировать требуемый экологический эффект. Комплексно решает вопросы повышения эффективности сжигания топлива и снижения технологического воздействия ТЭС на окружающую среду.

Основным преимуществом совместного сжигания является использование уже существующего котельного оборудования, сжигающего уголь, что обеспечивает наименьшие капитальные затраты в сравнении со строительством новых котлоагрегатов. Технология также обеспечивает гибкость с использованием топлива, позволяет утилизировать значительное количество биомассы, частично заместить ископаемое топливо возобновляемым (обычно до 20% по массе)  $\text{CO}_2$ -нейтральным топливом, а также снизить выбросы топливных оксидов азота и оксидов серы (содержание серы и азота в твердой биомассе в среднем в 10 раз ниже чем в угле). К недостаткам технологии можно отнести низкую плотность и калорийность твердой биомассы, а иногда и высокую влажность.

Будучи самым древним способом сжигания твердого топлива, слоевое сжигание применяется для сжигания крупнофракционного и кускового топлива на колосниковой решетке, сквозь слой которого продувается воздух. Слоевое сжигание угля и биомассы – это экономически эффективный метод использования смеси твердых топлив, позволяющий сократить выбросы  $\text{CO}_2$  и вредных веществ [4].

Эта технология позволяет эффективно сжигать все виды рафинированных и сухих биотоплив. Топливное устройство имеет форму параллелепипеда. Колосниковые решетки устанавливаются каскадом так, чтобы следующий колосник частично накрывал предыдущий, при этом между колосниками в вертикальной плоскости имеется щель, через которую поступает прогоняемый воздух. Топливо шнеком подается на самый верхний колосник. Под давлением вновь поступающих порций топлива, оно двигается в стороны, заполняя всю площадь поверхности колосников. Направление движения воздуха совпадает с направлением движения топлива, благодаря чему воздух также способствует перемещению топлива в нужном направлении. В самых качественных и технологичных топках над наклонной поверхностью колосников имеется специальный прижимной экран из огнеупорного материала, выдерживающего температуру 1500-1700  $^{\circ}\text{C}$ . Данный экран направляет пламя снизу вверх, в противоток движению топлива. Это дает следующие преимущества:

1. Пламя продлевает более длинный путь, чем обеспечивается более полное сгорание топлива, уменьшается количество искр.
2. Поднимающееся над влажным топливом пламя, подсушивает его, улучшая процесс его сжигания.
3. Процесс горения протекает более интенсивно и с более высокой температурой.

Окончательный дожиг топлива происходит на самом нижнем – горизонтальном колоснике с щелевыми отверстиями, через которые зола просыпается в зольник. Преимущества технологии сжигания на неподвижной наклонной колосниковой решетке: простота теплогенератора и минимальное количество движущихся частей, соответственно, низкая цена и короткий срок окупаемости; высокая интенсивность процесса сжигания на минимальной площади зеркала горения, соответственно, оборудование занимает минимальную площадь и массу;

- рекордно малое энергопотребление – менее 1 кВт электроэнергии на 1 МВт производимой тепловой;
- минимальное время запуска (несколько минут);

- очень высокая скорость регулирования мощности (секунды);
- очень широкий диапазон регулирования мощности - от 10 до 100 %.

Вместе с тем имеет следующие недостатки: плохая эффективность или даже невозможность работы на топливах с высокой зольностью ввиду блокирования дутьевых щелей колосниковой решетки спекающейся золой; средний срок службы футеровки вследствие её прямоугольного сечения.

Увеличение индекса воспламеняемости и снижение интегрального параметра позволяет судить об интенсификации воспламенения смесового топлива и повышения стабильности процесса его выгорания, что также может положительно сказаться на повышении эффективности работы котельных агрегатов.

### **Выводы**

Проведены исследования сжигания одиночных частей разной массы низкосортного Экибастузского угля с целью определения динамики термического разложения топлива.

Предложена формула для определения времени продолжительности горения части топлива, расчет необходимого времени нахождения горячей частицы в объеме топки до полного выгорания. Предлагаемую формулу можно использовать при расчетах сжигания подобных видов низкосортного топлива.

Уточнены значения коэффициентов при слоевом сжигании низкосортного угля Экибастузского месторождения:

- а) коэффициент тепловой эффективности экранов печи,
- б) коэффициент, учитывающий положения максимума температуры пламени,
- с) потери тепла от химической и механической неполноты сгорания топлива.

Частичное вовлечение биомассы в топливно-энергетический баланс путем совместного сжигания с углем на объектах теплоэнергетических установок позволяет снизить объем потребления угля, а также вредные выбросы и улучшить показатели по выбросу парникового углекислого газа.

Биомассу следует рассматривать как доступные сельскохозяйственные отходы.

Биомасса по сравнению с углем имеет ряд достоинств и недостатков. Биомасса относится к возобновляемым источникам энергии и имеет высокую реакционную способность. Ее основной недостаток – повышенное содержание влаги, заметно снижающее тепловыделение.

Для сжигания биомассы наиболее подходит технология прямого сжигания, не требующая высоких капиталовложений для реконструкции действующего оборудования.

Проведенные исследования показали эффективность и возможность применения технологии совместного сжигания угля и биомассы на действующих топочных устройствах.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан, ПЦФ BR23991563.*

### **Источники**

- 1 Гелетуха Г.Г., Жовмир Н.М., Олейник Е.Н., Радченко С.В. Биомасса как топливное сырье // Промышленная теплотехника, 2011, т. 33, №5. – С.76-84
- 2 Darren D. Schmidt, Vasu S. Pinapati. Opportunities for small biomass power systems // DOE Contract No. DE-FGO2-99EE35 128
- 3 Ван – Термогравиметрические исследования поведения пшеничной соломы с добавлением угля при сжигании, Biomass and Bioenergy, № 33. – С. 50-56
- 4 Бьяджинни – Скорость выхода летучих веществ из биомассы и смесей угля с биомассой, Fuel, № 81. – с. 1041

УДК 662.61

## ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК УГОЛЬНЫХ СМЕСЕЙ С РАСТИТЕЛЬНОЙ БИОМАССОЙ НА ОСНОВЕ КУКУРУЗНЫХ ОТХОДОВ

Мырзалиева С.К., Ефремова С.В., Акильбекова Ш.К., Ермишин С.В., Серикбаев П.К.

*РГП «НЦ КПМС РК», г. Алматы, Казахстан*

Сегодня в Казахстане возрос интерес к использованию угольного топлива в малой и средней энергетике. Эффективное использование твердого топлива в последние годы приобретает все большую актуальность. Вместе с тем решение этой задачи существенно осложняется из-за снижения качества углей, а также морального и физического износа оборудования систем теплоснабжения.

Ухудшение качества энергетических углей наблюдается повсеместно, хотя сегодня он является одним из важнейших топлив для выработки энергии. Для повышения эффективности сжигания используют топливные добавки органической и неорганической природы. К низкосортным углям добавляют отходы агропромышленного комплекса животного и растительного происхождения.

Вместе с тем использование угля или продуктов его переработки требует внедрения новых экологически чистых технологий, поскольку сжигание угля сопровождается выделением большого количества вредных веществ в атмосферу. К числу наиболее вредных относятся оксиды серы и азота, которые служат одной из основных причин возникновения «кислотных дождей». Кроме того, оксиды азота  $\text{NO}_x$ , наряду с  $\text{CO}_2$  участвуют в образовании фотохимического смога и разрушении озонового слоя [1].

Наиболее эффективной технологией сжигания топлив, полученных на основе низкосортного угля или отходов углеобогащения, является технология слоевого сжигания. Одним из основных преимуществ слоевого сжигания является возможность сжигания также угольных шламов, имеющих высокое содержание золы, мелких частиц, а также большое количество влаги [2]. Влага может быть внутренней, входящей в состав органического вещества, и внешней, находящейся в капиллярах, поверхностях и стенках кусков твердого топлива. При испарении влага поглощает тепло, а при конденсации, наоборот, – отдает.

Цель работы – исследование путей снижения углеродного следа при горении низкосортных высокозольных углей Казахстанских месторождений и изучение физико-химических характеристик угольных смесей, составленных из угля и растительной биомассы.

Горение любого топлива заключается в химической реакции окисления его горючих компонентов с выделением большого количества тепла. Углерод – это основной теплообразующий элемент твердого топлива. При полном его сжигании остается только углекислый газ ( $\text{CO}_2$ ), водяной пар и зола. Когда температура угля подходит к точке воспламенения, начинается горение. На этом этапе из топлива выделяется большое количество летучих соединений – пиролизных газов. При перемешивании с кислородом, происходит бурная реакция окисления, интенсивное распространение пламени по закладке. Далее начинает гореть основная составляющая твердого топлива – собственно углерод, имеющий примеси минерального состава, – сжигаются угли или кокс. Эта стадия занимает до 2/3 всего времени работы закладки. При сжигании твердого топлива необходимо подбирать такие температурные режимы, чтобы избежать зашлаковывания – спекания шлака.

Проведены исследования технологии слоевого сжигания угля, что обусловлено различной эффективностью вариантов ее реализации, прежде всего, по достигнутым

уровням удельных выбросов  $\text{NO}_x$  и механического недожога. Это особенно важно из-за необходимости сжигания на ТЭС проектного топлива ухудшенного качества или непроектных видов топлива, в том числе и отходов углеобогащения (промпродукта и шлама). Установлено, что уровень снижения выбросов  $\text{NO}_x$  зависит от следующих факторов: избытка первичного воздуха; суммарного избытка воздуха на выходе из горелок и возможности непосредственного контактирования частиц угольной пыли с топочными газами в корне горелочных струй. В свою очередь эти факторы оказывают существенное влияние на надежность зажигания угольной пыли и значение механического недожога, особенно при существенном увеличении влажности и зольности исходного топлива [3].

В настоящее время успешно разрабатывается направление по использованию топливных добавок на основе вторичного растительного сырья к низкосортным углям. Такие добавки предназначены для снижения углеродного следа при горении низкосортных высокозольных углей.

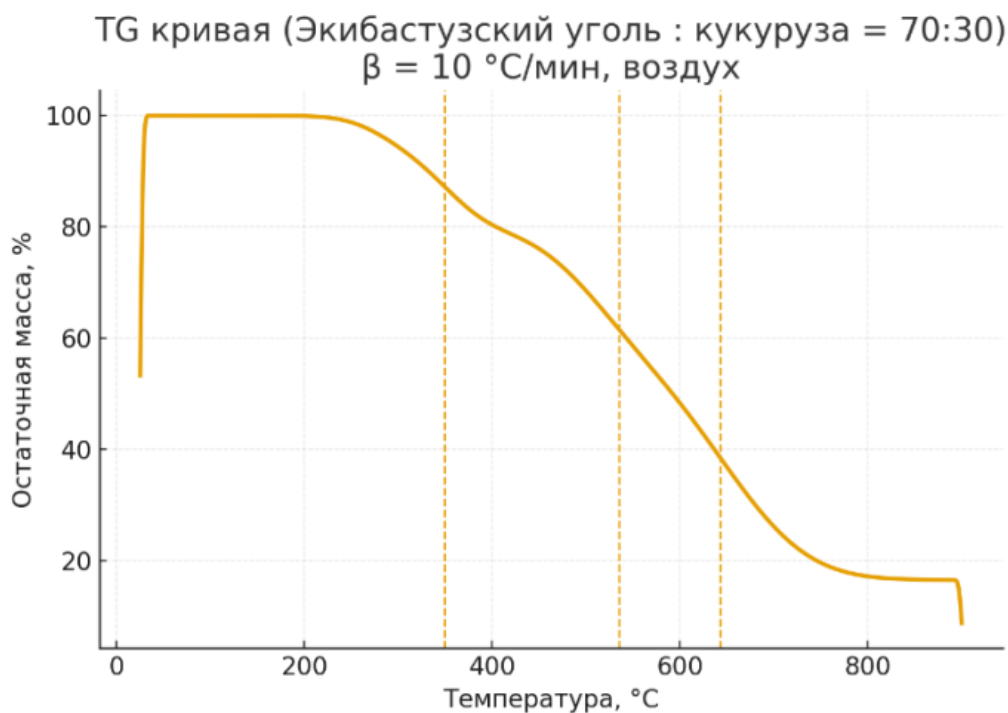
В качестве топливной добавки использованы стержни кукурузы, предварительно высушенные и измельченные. При сжигании ископаемого твердого топлива в атмосферу городов выбрасывается большое количество вредных веществ. Ужесточение требований к содержанию вредных выбросов в продуктах горения твердого топлива увеличивает поиск новых альтернативных видов топлива, которые позволяют снизить его расход и вредное воздействие на окружающую среду [4]. К этим видам топлива можно отнести термически облагороженное твердое топливо, а также отходы сельскохозяйственных производств и другие органические отходы (таблица 1).

**Таблица 1 – Физико-химические характеристики образцов**

Смесь	Зольность, Z %	Влажность, W %	Летучие в-ва, L %	Сухие горючие в-ва, %
Кукуруза 100 %	0,97	6,49	72,67	19,87
ЭУ/КД	27,66	2,07	45,55	24,72
95/5	25,62	2,27	28,93	43,18
90/10	23,54	2,61	31,78	42,07
85/15	21,77	3,37	34,95	39,91
80/20	18,07	12,83	34,58	34,52
75/25	18,85	3,23	41,32	36,59
70/30	16,57	5,75	43,15	34,52

*Примечание: ЭУ – экибастузский уголь, КД – кукурузная добавка*

Для изучения горения топливных образцов использован термогравиметрический анализ, по результатам которого определяли характеристики горения, такие как температура воспламенения, температура выгорания и индекс горения. Эти характеристики могут быть использованы для определения оптимальных условий сгорания топлива (рисунок 1).



**Рисунок 1 – Технологии снижения углеродного следа при горении низкосортных высокозольных углей**

Совместное сжигание угля и биомассы способствует улучшению горения за счёт увеличения доли летучих веществ и уменьшения зольности. Это повышает полноту окисления топлива и снижает образование твёрдых остатков. Увеличение доли биомассы до 30 % приводит к росту удельной теплоты сгорания, несмотря на пониженную плотность биомассы. При доле биомассы > 30 % наблюдается тенденция к уменьшению энергетической плотности топлива, но оптимум в диапазоне 20-25 % даёт наилучшее соотношение теплотворности и экологичности. Замещение 20-30 % угля биомассой снижает углеродный след и эмиссию  $\text{SO}_2$ , так как биомасса почти не содержит серы.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан, ПЦФ BR23991563.*

### Источники

- 1 Nasution R.K., Shofa R.H., Cahyadi T.A., Ernawati R. Literature review on co-firing of sub-bituminous coal and biomass for greenhouse gas emission mitigation // *Journal of Technology of Civil, Electrical, Mechanical, Geology, Mining and Urban Design*. – 2024. – Vol. 9, № 2. – P. 207-212.
- 2 Baxter L. Biomass-coal co-combustion: opportunity for affordable renewable energy // *Fuel*. – 2005. – Vol. 84, № 10. – P. 1295-1302.
- 3 Рябов Г.А., Долгушин И.А. Использование на ТЭЦ технологии циркулирующего кипящего слоя при совместном сжигании биомассы и ископаемых топлив // *Электрические станции*. 2012. № 10. С. 4-8.
- 4 Мырзалиева С.К., Акильбекова Ш.К., Даулетбай А.Д. Факторы, определяющие полноту сжигания низкосортного топлива. XXVI международную конференцию по химическим реакторам «химреактор - 26», республика Беларусь, г. Минск, дата 27-31 октября 2025 г.

УДК 66.095.92

## РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ ПОЛУЧЕНИЯ НОВОГО ПРОТИВОВИРУСНОГО СРЕДСТВА ГИНКАЗОН

Нуркенов О.А.<sup>1</sup>, Фазылов С.Д.<sup>1</sup>, Мендибаева А.Ж.<sup>1,2</sup>, Кабиева С.К.<sup>2</sup>, Жаутикова С.Б.<sup>3</sup>,  
Сыздыков А.К.<sup>1,2</sup>, Ахметкалиев С.Ж.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ТОО «Институт органического синтеза и углекислотной РК», г. Караганда, Казахстан

<sup>2</sup>Карагандинский индустриальный университет, г. Темиртау, Казахстан

<sup>3</sup>Карагандинский медицинский университет, г. Караганда, Казахстан

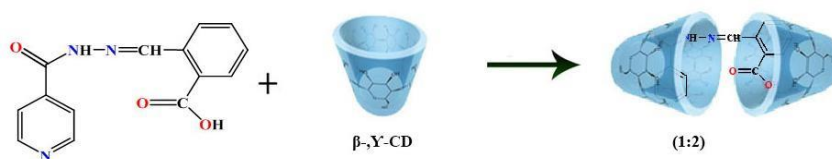
Создание новых лекарственных средств, эффективных в отношении вирусных инфекций, является одной из наиболее актуальных и социально-значимых задач фармацевтической науки [1]. В настоящее время нами разрабатывается технологический регламент получения субстанции 2-((2-изоникотиноилгидразоно)метил)бензойной кислоты, условно названный «гинказон». Настоящее соединение в будущем может использоваться в качестве нового противовирусного средства.

Гинказон получен на основе химической модификации известного препарата «изониазида». Далее была изучена его вирусоингибирующая активность в сравнении с эталонными препаратами гриппа. Результаты исследований приведены в таблице 1.

**Таблица 1 – Вирусингибирующая активность гинказона**

Соединение	Химический терапевтический индекс препаратов	
	А/Алматы/8/98 (H3N2)	А/Владивосток/2/09 (H1N1)
Гинказон	65,0	70,0
Тамифлю	29,9	30
Ремантадин	10,3	11

Для улучшения растворимости и получения водорастворимой формы гинказона проведено его инкапсулирование с  $\beta$ -циклодекстрином.



**Рисунок 1 – Схема образования капсулированной формы гинказона**

Таким образом, по результатам исследования предложены твердые лекарственные формы и технологические основы получения нового противовирусного средства гинказон.

### Источник

1 Машковский М.Д. // Лекарственные средства (16-е изд.) / Москва: ООО РИА «Новая волна», 2021. – 1216 с.

УДК 620.22:539.216

**НАНОЭФФЕКТЫ В ЖИДКОФАЗНЫХ СПЛАВАХ Co-La****Осипов П.А., Шаяхметова Р.А., Сагындыков А.Б.***РГП «НЦ КИМС РК», г. Алматы, Казахстан*

Жидкофазные состояния металлов и сплавов относятся к числу наиболее сложных для изучения объектов металлургической физики. Несмотря на значительную роль расплавленного состояния как исходного звена в формировании структуры кристаллического тела, представления о его внутреннем строении долгое время ограничивались разными моделями квазихаотического распределения атомов. Однако современные представления конденсированного состояния все больше склоняются к наноструктурной теории строения металлических расплавов, по которой основными структурными единицами жидкой фазы являются не отдельные атомы, а квазистабильные нанокристаллы [1].

Рентгенофазовые исследования металлических расплавов последних лет подтверждают наличие в них микрокластеров состоящих из сотен или тысяч атомов, со структурой, близкой к строению кристаллической решетки, которые не имеют четких границ. Они, несмотря на их динамическую природу, определяют ключевые физико-химические свойства системы и служат готовыми центрами кристаллизации. Применение основных положений наноструктурного подхода позволяет с новых позиций взглянуть на механизмы формирования твердокристаллического состояния при охлаждении [2].

Особый интерес представляет изучение бинарных систем на основе переходных и редкоземельных металлов, таких как сплавы системы Co-РЗМ. В жидком состоянии, ввиду отсутствия сложных кристаллических структур и сформированных квантовомеханическими эффектами магнитных доменов, электронная структура системы проявляется в более простой и наглядной форме. Поэтому, несмотря на значительные экспериментальные сложности, вызванные высокой химической активностью РЗМ при высоких температурах, многие исследователи обращаются к анализу жидкого состояния для верификации различных модельных представлений, в нашем случае проследить динамику кластерной организации путем измерения основных магнитных характеристик сплавов [3].

Поскольку поведение магнитных свойств тесно связано - в частности, с обменной энергией, обусловленной перекрытием волновых функций электронов при ненулевом суммарном спине, - исследование магнитных свойств расплавов Co-РЗМ позволяет апробировать существующие модельные представления о наноструктурной организации жидких сред. Настоящая работа посвящена анализу наноэффектов в жидкофазных сплавах Co-La и выявлению взаимосвязи между кластерным строением расплава и его макроскопическими характеристиками.

Измерения магнитной восприимчивости ( $\chi$ ) исследуемых сплавов проводили методом Фарадея на маятниковых весах в атмосфере очищенного гелия до температуры 1950 К. Образцы кобальта и лантана в необходимых стехиометрических соотношениях помещали в предварительно отоженный алундовый тигель с известной магнитной восприимчивостью. Для гомогенизации расплав нагревали до 1950 К и выдерживали в течение определенного времени. Измерения  $\chi$  выполняли в режиме охлаждения в трех различных магнитных полях с последующим усреднением полученных результатов. Время изотермической выдержки составляло 2–3 минуты в области высоких температур и 5–10 минут - в области низких. Таким образом, при каждой температуре фиксировалось квазистатическое состояние образца.

Скачки и изломы на политермах  $\chi$  соответствуют температурам плавления и фазовым переходам, зафиксированным на диаграммах состояния данных систем. Полученная изотерма мольной восприимчивости  $\chi_a$  исследуемых сплавов при температуре 1850 К (см. рисунок кривая 1) характеризуется резким снижением восприимчивости до содержания лантана около 40 ат. % и в дальнейшем почти линейным снижением вплоть до значения  $\chi$  чистого РЗМ. Резкое снижение магнитной восприимчивости при добавлении атомов лантана обусловлено заполнением 3d-оболочки кобальта валентными электронами редкоземельной компоненты.

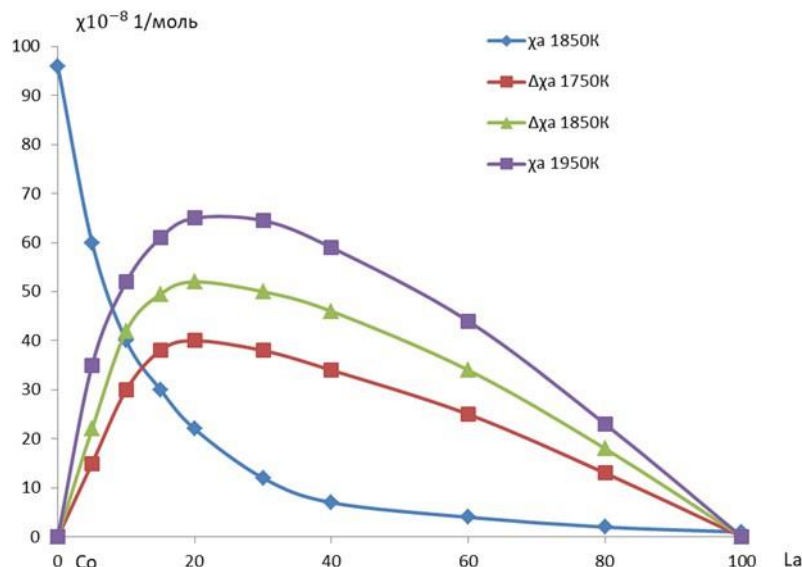


Рисунок 1 – Значения  $\chi$  и  $\Delta\chi_a$  при температурах 1750, 1850 и 1950 К сплавов Co La

Более детальную информацию об особенностях электронного строения системы позволяют получить значения избыточной мольной восприимчивости ( $\Delta\chi_a$ ), которые характеризуют величину изменения восприимчивости за счет перестройки электронной структуры компонентов при сплавообразовании. Значения  $\Delta\chi_a$  рассчитывали по формуле:

$$\Delta\chi_a = A_{Co} * \chi_{Co} * (1 - n) + A_{La} * \chi_{La} * n - A_{сп} * \chi_{сп},$$

где  $A_{сп}$ ,  $A_{Co}$ ,  $A_{La}$  атомные веса;  $\chi_{сп}$ ,  $\chi_{Co}$ ,  $\chi_{La}$  - магнитная восприимчивость сплава, кобальта и лантана соответственно,  $n$  - атомная доля гольмия.

Полученные значения  $\Delta\chi_a$  для температур 1750, 1850 и 1950 К представлены на рисунке. Высокие значения избыточной мольной восприимчивости свидетельствуют о значительном энергетическом вкладе в образование химической связи и подтверждают наличие кластерных группировок в расплаве. При температуре 1850 К на кривой  $\Delta\chi_a$  наблюдается отчетливо выраженный максимум, соответствующий содержанию лантана 20 ат. %. Это указывает на то, что в расплавах данной системы при указанной температуре наиболее устойчивыми являются кластеры состава  $Co_4La$ .

Повышение температуры до 1950 К приводит к снижению значений  $\Delta\chi_a$  и соответственно значения энергии связи в кластере. Максимум при этом сдвигается в сторону в сторону меньших концентраций лантана (до 17 ат. %), это примерно соответствует кластеру состава  $Co_5La$ , что обусловлено термической деградацией энергии связи и ослаблением обменных взаимодействий.

Напротив, при снижении температуры до 1750 К наблюдается рост энергии связи и сдвиг максимума в сторону более высоких концентраций РЗМ до 25 ат% с составом кластера  $Co_3La$ , Выявленная динамика свидетельствует о закономерной трансформации

стехиометрического состава кластеров при изменении температурного режима расплава.

Таким образом, исследована магнитная восприимчивость сплавов системы Co-La в широком температурном интервале, включая жидкое состояние. На основании экспериментальных данных построены изотермы  $\chi$  при 1850 К и избыточной мольной восприимчивости  $\Delta\chi_a$  при 1750, 1850 и 1950 К.

Установлено, что на изотерме  $\chi$  при увеличении содержания в сплаве редкоземельной компоненты наблюдается резкое снижение ее значений вплоть до концентрации лантана 40 ат. %, затем имеет место более плавный спад до уровня восприимчивости чистого РЗМ.

Отмечены высокие значения  $\Delta\chi_a$ , которые свидетельствуют о значительном энергетическом вкладе в образование химической связи и подтверждают наличие в расплаве устойчивых кластерных группировок.

Выявлено, что на изотермах  $\Delta\chi_a$  присутствуют отчетливо выраженные максимумы, положение которых зависит от температуры. Повышение температуры приводит к закономерному снижению  $\Delta\chi_a$  и смещению максимумов в сторону меньшего содержания редкоземельного металла. Данная динамика указывает на термическую деградацию энергии связи и трансформацию стехиометрического состава формирующихся кластеров.

### Источники

- 1 Марукович Е. И., Стеценко В. Ю. Наноструктурная теория металлических расплавов // *Литьё и металлургия*. – 2020. – №. 3. – С. 7-9.
- 2 Beltyukov A. L., Menshikova S. G., Lad'yanov V. I. Role of rare-earth metals (R) in the appearance of relaxation processes in AL-Ni-R metal melts // *Journal of Physics: Condensed Matter*. – 2023. – Т. 35. – №. 31. – С. 314001.
- 3 Осипов П.А., Сагындыков А.Б., Шаяхметова Р.А., Айткулов Д.К. Магнитные свойства и электронное строение сплавов железо-лантан при высоких температурах // *Материалы Международной научно-практической конференции «Инновации и комплексная переработка минерального сырья – актуальные составляющие диверсификации экономики»* – Алматы, 2024. – С. 82-84.

УДК 620.18

## КЛАССИФИКАЦИЯ МИКРОСТРУКТУР КАК МЕТОДОЛОГИЧЕСКАЯ ОСНОВА КОЛИЧЕСТВЕННОЙ МЕТАЛЛОГРАФИИ

Пережогин В.Ю.

*Независимый исследователь*

**Ключевые слова:** металлография, классификация микроструктур, структурные составляющие, количественный анализ.

**Аннотация.** Металлография исторически развивалась как качественный метод описания микроструктуры, ориентированный преимущественно на визуальную характеристику формы зёрен, распределения структурных составляющих и дефектов. С переходом к цифровой обработке изображений и количественным методам анализа дисциплина приобрела измерительный характер, однако методологическая основа анализа по-прежнему остаётся преимущественно материал-ориентированной.

Существующие подходы предполагают наличие «типичных» структур для отдельных классов материалов (сталей, алюминиевых сплавов, чугунов и др.), тогда как один и тот же материал способен формировать принципиально различные типы микроструктур в зависимости от состава и условий обработки. В результате количественные параметры нередко применяются без явной идентификации объекта анализа, что снижает физическую интерпретируемость и методологическую обоснованность результатов.

В промышленной практике количественная металлография используется как инструмент контроля качества, анализа причин отказов и оценки эффективности технологических процессов. Некорректная идентификация типа микроструктуры перед проведением измерений может приводить к выбору неадекватных параметров анализа и снижению воспроизводимости результатов.

**Цель и задачи исследования.** Цель исследования – формирование классификации микроструктур, основанной на типе наблюдаемого строения, а не на номинальном классе материала.

Задачи исследования включают:

- выделение классификационных признаков структуры;
- систематизация параметров описания структурных составляющих;
- обоснование необходимости предварительной идентификации типа структуры перед проведением количественного анализа.

**Основные результаты.** Структура материала рассматривается как совокупность различных областей и характера их пространственного распределения в пределах выбранного масштаба. Структура в целом характеризуется:

- числом структурных составляющих (односоставная, двухсоставная, многосоставная);
- типом их пространственного распределения (однородное, зональное, градиентное, периодическое, случайное);
- характером пространственной ориентации структурных элементов (без выраженной ориентации или с преимущественной ориентацией).

Структурная составляющая определяется как часть структуры, обладающая устойчивыми геометрическими и/или фазовыми признаками, позволяющими отличить её от соседних областей. Она характеризуется:

- формой (равноосная, вытянутая, пластинчатая, игольчатая, сложная);

- фазовой сложностью (одно-, двух- или многофазная);
- числом уровней организации (одно-, двух- или многоуровневая).

Под уровнем организации понимается различимый масштаб строения, объективно существующий в структуре, независимо от применяемого метода наблюдения. Идентификация типа структуры рассматривается как обязательный этап, предшествующий количественному анализу.

Предлагаемая классификация отделяет классификацию структуры от термодинамического фазового анализа, позволяет адаптировать металлографическую методику к типу микроструктурного строения, а не к номинальному классу материала, и формирует универсальную основу для выбора способов подготовки образцов, параметров съёмки и методов количественного анализа.

Предложенный подход приобретает особую актуальность в условиях цифровизации металлографических исследований и внедрения автоматизированных систем анализа изображений в практике горно-металлургического комплекса.

### **Выводы**

1. Традиционные материал-ориентированные методики количественной металлографии содержат неявные структурные предположения.
2. Тип микроструктуры определяется условиями формирования, а не принадлежностью к номинальному классу материала.
3. Структурно-ориентированная классификация формирует универсальную методологическую основу количественного анализа.
4. Предложенная классификация может служить методологической основой для повышения воспроизводимости количественного анализа микроструктур как в научных исследованиях, так и в практике металлургического производства.

### **Источники**

- 1 Салтыков С.А. Стереометрическая металлография. – М.: Металлургия, 1970. – 376 с.
- 2 Vander Voort G.F. Metallography: Principles and Practice. – Materials Park, OH: ASM International, 1999. – 752 p.
- 3 ASM Handbook. Vol. 9: Metallography and Microstructures. – Materials Park, OH: ASM International, 2018. – 1042 p.

УДК 66.017

## ЖИДКОСТНЫЕ МЕТОДЫ ПОЛУЧЕНИЯ ОПТИЧЕСКИХ НАНОМАТЕРИАЛОВ

Сагындыков А.Б., Осипов П.А.

*РГП «НЦ КПМС РК», г. Алматы, Казахстан*

Изучение механизмов формирования сложной морфологии поверхности многослойных структур, обусловленных квантовыми эффектами, относится к числу наиболее перспективных направлений современных исследований в области наноматериалов и физики конденсированного состояния. Экспериментальные исследования, выполненные с использованием золь-гель метода и метода электронного парамагнитного резонанса (ЭПР), показали, что локализация парамагнитных центров существенно усиливается после осаждения оксида цинка (ZnO). При увеличении числа наносимых слоёв наблюдается сокращение времени релаксации парамагнитных центров, что, вероятно, связано с формированием нанокристаллических включений ZnO, обладающих энергетически устойчивыми свойствами [1-3].

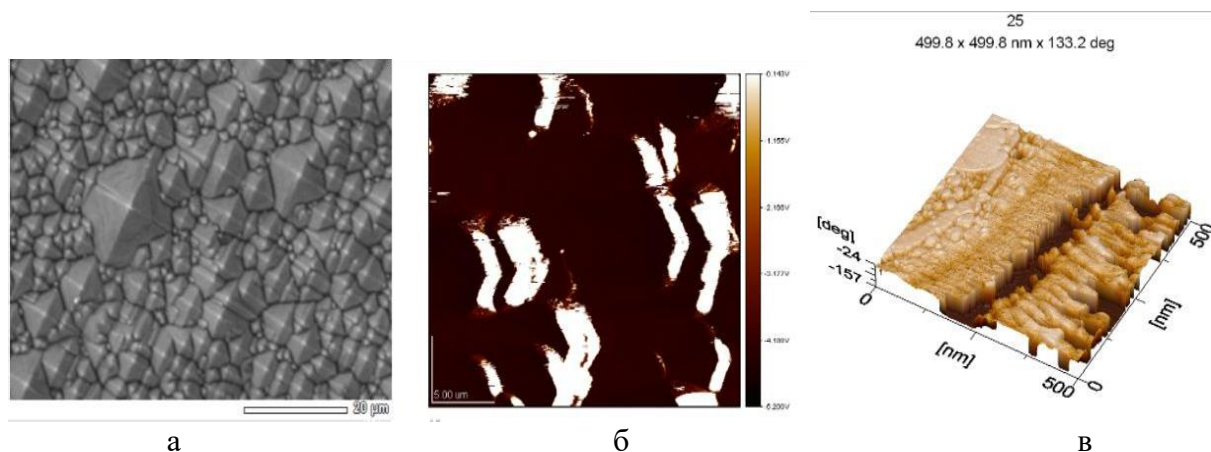
Процесс нуклеации играет определяющую роль в формировании микроструктуры тонкоплёночных покрытий, особенно в случае получения плёнок нанометровой толщины. Контроль условий зарождения и роста кристаллитов позволяет управлять морфологией и функциональными характеристиками формируемых структур [4].

Исследование морфологии поверхности образцов проводилось с использованием атомно-силового микроскопа JSPM-5200 («JEOL», Акишима, Япония). Сканирование осуществлялось в режиме АС-AFM. Типичные параметры измерений включали время сканирования одной строки 625 мкс и общее время получения изображения около 13 минут. В качестве зондов использовались кантилеверы марки NSC35/AIBS. Масштабы сканирования варьировались в диапазоне 25×25 мкм, 6×6 мкм, 1×1 мкм и 500×500 нм. Измерения проводились при температурах от 100 до 500 °С в условиях вакуума с остаточным давлением до  $10^{-6}$  мм рт. ст. Дополнительно были проанализированы изображения оптической микроскопии, полученные при увеличении ×125 с использованием микроскопа ТМ-24033 («JEOL», Акишима, Япония).

Спектры фотолюминесценции (ФЛ) регистрировали на спектрофотометре Cary Eclipse («Agilent», Санта-Клара, США) в диапазоне длин волн от 200 до 800 нм. Ширина входной и выходной щелей прибора варьировалась в пределах 0,5-2,4 нм. Оптическая схема спектрофотометра основана на применении монохроматора с вогнутой голографической дифракционной решёткой с плотностью 1023 штриха/мм. В качестве источников излучения использовались вольфрамо-галогенная лампа для измерений в видимой области спектра и дейтериевая лампа для ультрафиолетового диапазона [5].

Структура поверхности образцов анализировалась методами оптической и атомно-силовой микроскопии. Выбор минимального масштаба сканирования 500×500 нм был обусловлен необходимостью надёжной идентификации объектов различного размерного диапазона. Известно, что частицы ZnO, обладающие низким поверхностным натяжением, способны эффективно проникать в пористый кремний (por-Si), обеспечивая контролируемые концентрации ионов  $Zn^{2+}$  в объёме подложки [6].

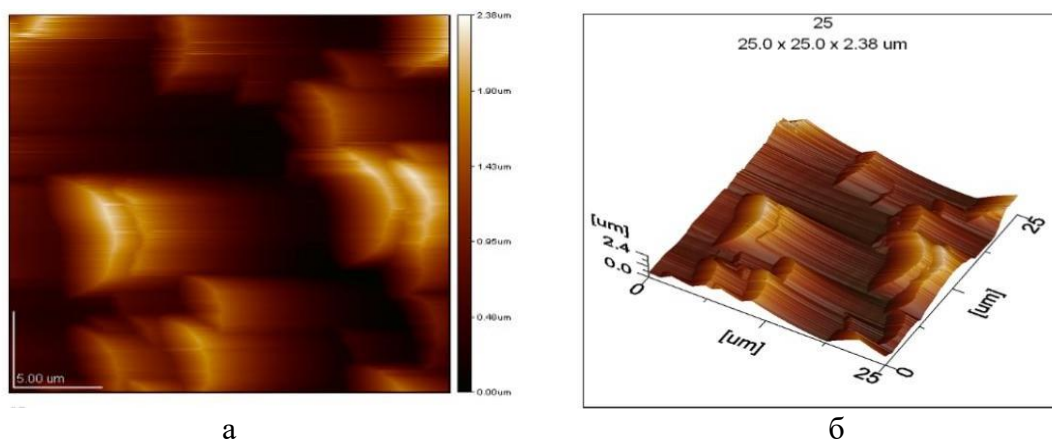
Поверхность исходного образца без нанесённого покрытия при наблюдении с помощью оптического микроскопа характеризуется макропористой структурой (рисунок 1а) с высокой степенью однородности морфологии. На изображениях области сканирования  $25 \times 25$  мкм выявляются регулярные мелкомасштабные образования, что подтверждается результатами анализа участка размером  $6 \times 6$  мкм (рисунок 1б). При дальнейшем увеличении до  $500 \times 500$  нм (рисунок 1в) визуализируются мезомасштабные поры, формирующие развитый рельеф поверхности.



**Рисунок 1 – АСМ-изображения образца без покрытия:**  
**(а) оптическая микроскопия; (б)  $25 \times 25$  мкм (режим топографии),**  
**(в)  $500 \times 500$  нм (фазовый режим)**

На данных изображениях наблюдаются структуры, ориентированные под различными углами относительно условной горизонтальной плоскости, без чётко выраженных границ, что свидетельствует о сосуществовании аморфной и кристаллической фаз. Продольные размеры выявленных образований составляют 80-115 нм, поперечные – 30-50 нм. Рельеф поверхности характеризуется наличием одиночных гребней и многочисленных впадин глубиной  $50 \pm 10$  нм, при этом поры не демонстрируют выраженной преимущественной ориентации, а границы областей травления отличаются значительным разнообразием. После нанесения 25 слоёв покрытия оптическая микроскопия фиксирует уменьшение характерных размеров макропор. На изображениях области  $25 \times 25$  мкм дополнительно выявляются регулярные структурные элементы. При увеличении до  $1,5 \times 1,5$  мкм установлено, что большинство образований обладают близкой пространственной ориентацией. Анализ изображений с масштабом  $500 \times 500$  нм позволил идентифицировать нанокластеры  $ZnO$ , равномерно распределённые по поверхности (рисунок 2).

Эта работа способствует развитию теоретических исследований в области получения фотоактивных наноструктурированных пленок на кремниевой поверхности. Результаты этих исследований могут быть использованы при создании солнечных элементов, что внесет вклад в развитие солнечной энергетики в Казахстане. Изучение фотопреобразовательных элементов и пассивирующих оптически активных пленок на солнечных элементах продолжается, и результаты исследования помогут в решении задач повышения КПД солнечных элементов.



**Рисунок 2 – АСМ-изображения образца с 25 слоями покрытия, масштаб сканирования – 25×25 мкм: а – топографический режим; б – фазовый режим**

### Источники

- 1 Özgür Ü., Alivov Y.I., Liu C. et al. A comprehensive review of ZnO materials and devices // *Journal of Applied Physics*. – 2005. – Vol. 98. – No. 4. – P. 041301.
- 2 Janotti A., Van de Walle C.G. Fundamentals of zinc oxide as a semiconductor // *Reports on Progress in Physics*. – 2009. – Vol. 72. – No. 12. – P. 126501.
- 3 Pearton S.J., Norton D.P., Ip K. et al. ZnO thin films and nanostructures for optoelectronic applications // *Progress in Materials Science*. – 2005. – Vol. 50. – No. 3. – P. 293-340.
- 4 Srikant V., Clarke D.R. Optical absorption edge of ZnO thin films // *Journal of Applied Physics*. – 1998. – Vol. 83. – No. 10. – P. 5447-5451. (Scopus, WoS).
- 5 Bhushan B. *Springer Handbook of Nanotechnology*. – Berlin: Springer, 2017. – 1264 p.
- 6 Canham L.T. Silicon quantum wire array fabrication by electrochemical and chemical dissolution of wafers // *Applied Physics Letters*. – 1990. – Vol. 57. – No. 10. – P. 1046-1048.
- 7 Cullis A.G., Canham L.T., Calcott P.D.J. The structural and luminescence properties of porous silicon // *Journal of Applied Physics*. – 1997. – Vol. 82. – No. 3. – P. 909-965. (Scopus, WoS).

УДК 666.762.1

## РАЗРАБОТКА СОСТАВОВ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ОГНЕУПОРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Сатбаев Б.Н., Кокетаев А.И., Шалабаев Н.Т., Сатбаев А.Б., Рыскалиева Ж.Н.,  
Ильясова Г.Х.

*Астанинский филиал РГП «НЦ КИМС РК», г. Астана, Казахстан*

Важной проблемой любого огнеупорного производства является сырьевая обеспеченность. В этой связи является актуальным использование в качестве сырья отходы огнеупорного производства, которые вполне могут заменить первичные природные ресурсы. Это экономически выгодно, т.к. не будет затрат на добычу, транспортировку и первичную обработку исходного сырья. Кроме того, решаются экологические вопросы – сохранение природного ландшафта и утилизация техногенных отходов.

Для разработки новых огнеупорных материалов используется СВС-технология. Основными факторами, управляющими синтезом, являются: состав смеси порошков, соотношение и размер частиц реагентов, плотность смеси, размеры образца и др.

Принципиально положительным качеством получаемых по данной технологии огнеупорных материалов является то, что тело огнеупора синтезируется по методу СВС в результате окислительно-восстановительных реакций, которые происходят после футеровки печи во время разогрева ее до необходимой для возникновения начала процесса самораспространяющегося высокотемпературного синтеза.

Проведенные нами исследования перспективных отходов, анализ и обоснование возможности применения их для производства функциональных огнеупорных материалов позволили сделать вывод, что для разработки новых составов огнеупорных материалов из техногенного сырья наиболее перспективными являются: бой периклазохромитовых, периклазошпинелидных и алюмосиликатных кирпичей, шамотных изделий.

Исходными материалами для разработки новых лабораторных образцов огнеупорных материалов по СВС технологии были алюминий, сульфат магния, бой периклазохромитового кирпича, бой периклазошпинелидного кирпича, глина огнеупорная.

Смесь компонентов готовили следующим образом, например: 8 кг алюминиевого порошка марки ПА-4, 13 кг, природный сульфат магния  $MgSO_4 \cdot 7H_2O$  (эпсомит), 29 кг боя периклазохромитового кирпича, 32 кг боя периклазошпинелидного кирпича, 18 кг глины огнеупорной и тщательно перемешивают. Затем в приготовленную сухую смесь добавляли 10 л воды и вновь тщательно перемешивали, после чего смесь готова для использования как торкрет-масса. После футерования стенок печи торкрет-массой и разогреве ее до 900 °С происходит СВС-процесс, т.е. самоспекание экзотермической смеси, в монолит, после чего футеровка приобретает огнеупорность 1950 - 2000 °С.

Были отобраны 16 образцов футеровки для определения технических характеристик нового огнеупорного материала (таблица 1).

Для определения оптимальных составов новых огнеупорных материалов применили теорию планирования эксперимента. Сравнительные значения огнеупорности нового состава огнеупора – эксперимент и моделирование показаны в таблице 2.

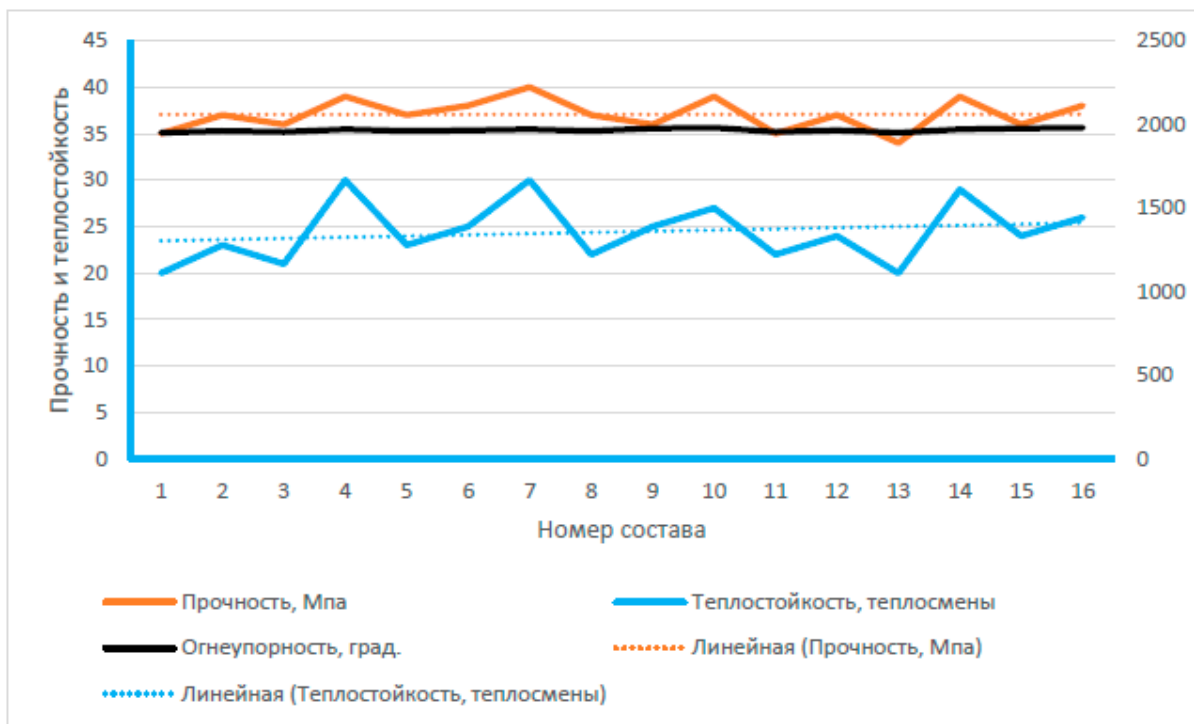
**Таблица 1 – Состав нового огнеупорного материала**

№ образца	Al	MgSO <sub>4</sub>	Бой переклазохромитового кирпича	Бой периклазошпинелидных кирпичей	Глина огнеупорная	Огнеупорность, °С	Прочность при изгибе, МПа	Термостойкость
1	7	12	30	33	20	1950	35	20
2	10	12	30	33	17	1960	37	23
3	7	13	30	33	17	1955	36	21
4	10	13	30	33	20	1970	39	30
5	7	12	28	33	20	1960	37	23
6	10	13	28	33	17	1965	38	25
7	7	12	28	33	17	1970	40	30
8	10	13	28	33	20	1960	37	22
9	7	12	30	30	20	1975	36	25
10	10	12	30	30	17	1980	39	27
11	7	13	30	30	20	1955	35	22
12	10	13	30	30	20	1965	37	24
13	7	12	28	30	17	1950	34	20
14	10	13	28	30	17	1970	39	29
15	7	12	28	30	20	1975	36	24
16	10	13	28	30	17	1980	38	26

**Таблица 2 – Сравнительные значения огнеупорности нового состава огнеупора – эксперимент и моделирование**

Номер состава	1	2	3	4	5	6	7	8
Эксперимент	1950	1960	1955	1970	1960	1965	1970	1960
Моделирование	1958	1967	1952	1963	1960	1965	1960	1966
Номер состава	9	10	11	12	13	14	15	16
Эксперимент	1975	1980	1955	1965	1950	1970	1975	1980
Моделирование	1965	1975	1960	1970	1967	1972	1968	1972

На рисунке 1 представлены технические характеристики синтезированных огнеупорных материалов. Полученные результаты показывают достаточную сходимость экспериментальных и теоретических значений характеристик разработанных огнеупорных материалов.



**Рисунок 1 – Характеристики синтезированного огнеупорного материала**

Таким образом, в результате проведенных исследований нами разработаны новые огнеупорные материалы из техногенного сырья, определены оптимальные их составы. В дальнейшем планируется их опытно-промышленная проверка в условиях металлургических предприятий.

УДК 666.762.1

## РАЗРАБОТКА ОГНЕУПОРНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ФУТЕРОВОК ВЫСОКОАГРЕССИВНЫХ ЗОН МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ АГРЕГАТОВ

Сатбаев Б.Н., Кокетаев А.И., Шалабаев Н.Т., Сатбаев А.Б., Рыскалиева Ж.Н.,  
Ильясова Г.Х.

*Астанинский филиал РГП «НЦ КИМС РК», г. Астана, Казахстан*

В последние годы высокоглиноземистый цемент (ВГЦ) получил широкое применение в черной и цветной металлургии в составе жаропрочных бетонов и сухих жаропрочных смесей, используемых в печах, котлах, сталеразливочных ковшах. Применение таких бетонов и смесей позволяет благодаря высоким теплоизоляционным свойствам экономить топливно-энергетические ресурсы за счет снижения теплотерь, а также в виду высокой химической стойкости позволяет исключить химическое взаимодействие футеровки с расплавленным металлом. Высокая механическая прочность этих материалов, значительный срок службы удешевляют производство, а быстрый набор прочности в ранние сроки твердения сокращает время ремонта.

Получение высокоглиноземистого цемента традиционно связано с высокотемпературным обжигом специальных сырьевых смесей. Однако этот процесс энергозатратен и экологически небезопасен. В связи с этим, разработка безобжиговых методов синтеза ВГЦ-50 является актуальной задачей современной промышленности.

Один из перспективных методов получения ВГЦ-50 – механохимический синтез, преимуществами которого является высокая скорость синтеза, возможность получения материалов с уникальными свойствами.

Измельчение веществ до очень маленьких частиц увеличивает площадь их поверхности, что делает их более активными в химических реакциях.

Задачей исследований являлось получение высокоглиноземистого цемента безобжиговым методом, применение которого обеспечивает быстрый набор прочности огнеупорных бетонов различного минерального состава, а также огнеупорных изделий на их основе, которые позволят повысить производственные и эксплуатационные характеристики огнеупорных материалов, а именно: повышение теплостойкости, химической стойкости, предела прочности на изгиб, истираемости при достаточной огнеупорности ( $\geq 1950$  °С).

Данный результат достигается повышением реакционной способности глиноземистого компонента за счет увеличения его поверхности и степени дефектности кристаллической структуры при измельчении исходных компонентов в высокоэнергетических мельницах до наноразмерных частиц и, как результат, высокой скорости взаимодействия тонких фракций глинозема с известковым компонентом. Кроме того, при введении в сырьевую смесь минерализатора и катализатора фторида кальция  $\text{CaF}_2$  резко ускоряется миграция алюминия, что способствует улучшению в целом качества высокоуглеродистого цемента.

Это подтверждают теоретические и экспериментальные исследования термодинамики малых частиц, которые показывают, что размер частиц является активной термодинамической переменной, определяющей вместе с другими термодинамическими переменными состояние системы. При переходе от макро- к наносостоянию, известные «объемные» свойства материала существенно изменяются. Эти изменения связаны с проявлением размерных эффектов различной природы. Так, например, структурные размерные эффекты проявляются в виде изменения межатомных расстояний, перестройки кристаллической структуры вплоть до перехода в аморфное

состояние, а при химических размерных эффектах изменяется фазовый состав вещества и его реакционная способность.

Как известно, минеральный состав высокоглиноземистых цементов представлен в основном моноалюминатом кальция  $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$  и диалюминатом кальция  $\text{CaO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3$ . С увеличением в цементе количества минерала  $\text{CaO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3$ , который быстро реагирует с водой, повышается скорость его твердения в течение первых часов, а при большем содержании  $\text{CaO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3$  возрастает огнеупорность вяжущего и огнеупорных бетонов на его основе. В предлагаемом составе огнеупорного бетона в качестве исходного сырья для производства высокоглиноземистых цементов используем ВГПУ (таблица 1), состав которого содержит оксид  $\text{Al}_2\text{O}_3$  и цемент, содержащий  $\text{CaO}$ .

**Таблица 1 – Химический состав компонентов смеси**

Компонент	Химический состав, %				
	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{MgO}$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{SiO}_2$	$\text{CaO}$
Продукт ВГПУ	77	14,2	1,6	-	-
Цемент	4-8	-	1-5	18-24	61-69
Глина огнеупорная	42-45	-	2,27	40-43	0,58

В таблице 2 представлены технические характеристики, полученные в результате испытаний разработанного бетона.

**Таблица 2 – Технические характеристики синтезированного цемента**

Марка цемента	Предел прочности при сжатии через трое суток, МПа	Срок схватывания, час	Огнеупорность, $\text{C}^0$	Количество цемента в бетоне, %
Предлагаемый состав	30-65	0,5-1,5	1950	5,0

Для установления возможности применения высокоглиноземистого цемента, произведенного по предложенному способу, в составе неформованных огнеупоров и бетонных изделий, были проведены испытания при обмазке стволов шахт Жезказганского месторождения.

Промышленная применимость заключается в возможности вовлечения в сферу производства высокоглиноземистого цемента из отходов производства в виде продукта ВГПУ и получения цементов марки ВГЦ -50. Предлагаемый подход получения высокоглиноземистого цемента позволяет повысить физико-химические физико-механические свойства огнеупорных изделий.

УДК 669.295

**TI-AL-MO-V-ZR ЖҮЙЕСІНДЕГІ ФАЗАЛЫҚ ТЕПЕ-ТЕНДІК ПЕН  $\beta$ -АУМАҒЫНЫҢ ШЕКТЕРІНЕ ZR ҚОСПАСЫНЫҢ ӘСЕРІ****Сахова Б.Т.<sup>1</sup>, Алимжанова А.М.<sup>1</sup>, Койшина Г.М.<sup>2</sup>**<sup>1</sup>*«ҚР МШКҚӨ ҰО» РМК, Алматы қ., Қазақстан*<sup>2</sup>*«Қ.И. Сәтбаев атындағы ҚазҰТЗУ» КеАҚ, Алматы қ., Қазақстан*

Қарқынды пластикалық деформация металлдар мен қорытпалардың механикалық қасиеттер кешенін жақсартудың тиімді тәсілі ретінде қарастырылады. Бұл әдіс ультраұсақтүйіршікті және наноқұрылымды күйлерді қалыптастыру арқылы жүзеге асырылады [1]. Екі фазалы титан қорытпалары үшін бұл, әдетте, беріктік пен шаршауға төзімділік шегінің жоғарылауына, сондай-ақ жоғары және төмен температуралық асқын пластиктілікті іске асыру мүмкіндіктерінің кеңеюімен қатар жүреді [2]. Алайда УҰТ күйге өту кезінде көбінесе соққы тұтқырлығы мен жарықша таралу тұтқырлығының төмендеуімен қатар жүреді, соның салдарынан мұндай материалдардың құрылымдық қолданылуын шектеп, «беріктік-жарықшаға төзімділік» арақатынасын оңтайландыруды қажет етеді [3].

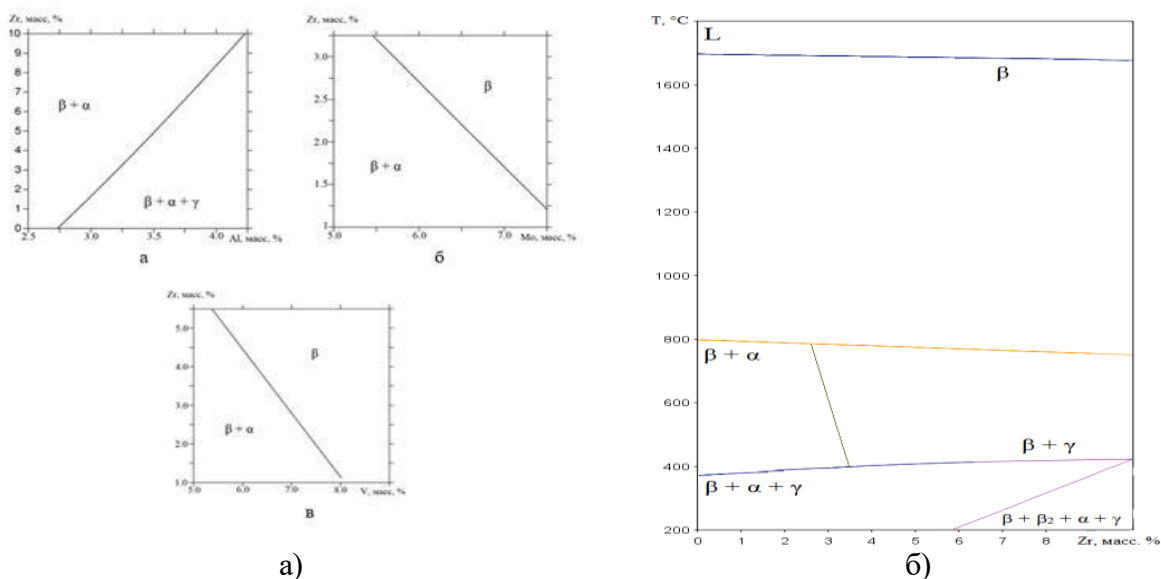
Авиациялық машина жасауда жұқа қабырғалы қуысты бұйымдарды төмен температуралы режимдерде асқын пластикалық қалыптау ерекше қызығушылық тудырады, өйткені мұндай режимдер жабдыққа түсетін термиялық жүктемені азайтып, құрал-сайман материалдарына қойылатын талаптарды төмендетуге мүмкіндік береді [4]. Көпкомпонентті Ti-жүйелерінде аса дәл құрамдарды әзірлеу және термиялық әрі термомеханикалық өңдеу режимдерін таңдау айтарлықтай тәжірибелік шығындарды талап етеді. Сондықтан фазалық тұрақтылықтың температуралық аралықтарын негіздеу мен фазалық тепе-теңдіктерді болжауды көп еңбекті қажет ететін тәжірибелерді жүргізгенге дейін есептеу әдістерімен жүргізу орынды [5].

Жұмыстың мақсаты – Ti-Al-Mo-V-Zr жүйесіндегі Zr элементінің фазалық тұрақтылыққа және  $\beta$ -аймағының шекараларына әсерін есептеу әдістерімен бағалау. Zr мөлшерін таңдау оның қалыпты  $\beta$ -тұрақтандырғыш әсерімен және  $\alpha+\beta$  екі фазалы өріс шекараларының орналасуына ықпалымен негізделген. Мақсатқа жету үшін фазалық диаграмманың изотермиялық және политермиялық қималарын құру, сондай-ақ Ti-2,5Al-5Mo-5V-Zr қорытпасы үшін  $\alpha+\beta$  тұрақтылығының температуралық аралығын анықтау міндеттері шешілді.

Модельдеу Thermo-Calc 2023a бағдарламасында TCTI TCS Ti-and TiAl Alloys Database, Perpetual DSUNLL 5 деректер базасын қолдану арқылы орындалды. Изотермиялық қималар бекітілген температуралардағы фазалық арақатынастарды бағалау үшін, ал политермиялық қималар – легірлеудің қыздыру/суыту кезіндегі фазалық түрленулерге және  $\beta$ -транзус сызығының орналасуына әсерін талдау үшін қолданылды.

Ti-2,5Al-5Mo-5V-Zr жүйесіне жүргізілген есептеулер зерттеліп отырған температуралық аралықта ГПУ- $\alpha$  және ОЦК- $\beta$  қатты ерітінділерінің аймақтары басым екенін көрсетеді, бұл ретте температура мен құрамның жекелеген үйлесімдерінде  $\beta_2$ -және  $\gamma$ -фазалары бар аймақтардың болуы мүмкін. Технологиялық интерпретация үшін 700 °C температурадағы нәтижелер мен  $\alpha+\beta$  температуралық аралығының шекараларын және бір фазалы  $\beta$ -аймағына өту шарттарын анықтайтын политермиялық қималар шешуші мәнге ие. 700 °C-та Al мөлшерінің артуы  $\alpha+\beta+\gamma$  аймағын кеңейтеді, ал Zr мөлшерінің ~1 мас.%-дан жоғарылауы  $\beta$ -тұрақтандырғыштардың (Mo, V) жоғары концентрациясымен бірге тепе-теңдікті бір фазалы  $\beta$ -күйіне қарай ығыстырады. Бұл жоғары температуралы ұстау кезінде  $\beta$ -түйіршіктерінің іріленуіне әкелуі мүмкін.

Сонымен, артық  $\beta$ -тұрақтандырусыз тұрақты екі фазалы күйді қамтамасыз ету үшін Zr мөлшерін 1 мас.% деңгейінде шектеу мақсатқа сай.



**1-сурет – Ti-Al-Mo-V-Zr жүйесінің фазалық диаграммасының есептелген қималары: а) 700 °C температурадағы Ti-Al-Mo-V-1Zr қорытпаға арналған изотермиялық қима; б) Ti-Al-Mo-V-Zr жүйесінің политермиялық қимасы**

Фазалардың есептелген үлестері 1-кестеде келтірілген.

**1-кесте – Негізгі температуралардағы Ti-2,5Al-5Mo-5V-Zr қорытпаларындағы  $\alpha$  және  $\beta$  фазаларының есептелген массалық үлестері**

Zr, мас.%	$\alpha/\beta$ , мас.%			
	600 °C кезінде	660 °C кезінде	700 °C кезінде	800 °C кезінде
0,5	31,8 / 68,1	42,0 / 58,0	52,2 / 47,7	100
1,0	32,3 / 67,7	42,7 / 57,3	53,1 / 46,9	100
1,5	32,8 / 67,1	43,4 / 56,6	54,0 / 46,0	100

*Ескерту – 800 °C температурада қарастырылған барлық құрамдарда бір фазалы  $\beta$ -күйі іске асады.*

Мәліметтер 600 °C температурада  $\beta$ -фазаның үлесі ~32 мас.% құрайтынын және Zr мөлшеріне (0,5-1,5 мас.%) әлсіз тәуелді екенін көрсетеді. 660-700 °C аралығында  $\alpha$  және  $\beta$  фазаларының тең мөлшерге жуық таралуына ( $\beta \approx 42-54$  мас.%) қол жеткізіледі, бұл деформация алдындағы екі фазалы күйді бекітудің технологиялық маңызы бар температуралық интервалын анықтайды. 800 °C және одан жоғары температурада қорытпа бір фазалы  $\beta$ -аймағына ауысады.

Thermo-Calc бағдарламасында Ti-Al-Mo-V-Zr жүйесін термодинамикалық модельдеу әдісі 660–700 °C кезінде Ti-2,5Al-5Mo-5V-(0,5-1,5)Zr қорытпасы  $\alpha$  және  $\beta$  фазаларының теңгерімді мөлшерімен ( $\beta \approx 42-54$  мас.%) сипатталатынын көрсетті. Zr мөлшері шамамен 1 мас.% болғанда, артық  $\beta$ -тұрақтандырусыз  $\alpha+\beta$  тұрақты екі фазалы күйіне қол жеткізіледі, бұл берілген құрамды термомеханикалық өңдеу үшін технологиялық тұрғыдан тиімді етеді.

## Әдебиеттер

- 1 Meyers M.A., Mishra A., Benson D.J. Mechanical properties of nanocrystalline materials // *Progress in Materials Science*. – 2006. – Vol. 51. – P. 427-556.
- 2 Valiev R.Z., Estrin Y., Horita Z., Langdon T.G., Zehetbauer M.J., Zhu Y.T. Fundamentals of superior properties in bulk nanoSPD materials // *Materials Research Letters*. – 2015. – Vol. 4. – P. 1-21.
- 3 Pippan R., Hohenwarter A. The importance of fracture toughness in ultrafine and nanocrystalline bulk materials // *Materials Research Letters*. – 2016. – Vol. 4. – P. 127-136.
- 4 Лутфуллин Р.Я., Круглов А.А., Мухаметрахимов М.Х., Руденко О.А. Низкотемпературная сверхпластичность и изготовление полых конструкций из титанового сплава ВТ6 // *Письма о материалах*. – 2015. – Т. 5, № 2. – С. 185-188.
- 5 Ильин А.А., Колачев Б.А., Полькин И.С. Титановые сплавы. Состав, структура, свойства: справочник. – М.: ВИЛС–МАТИ, 2009. – 520 с.

УДК 621.74

## ВЛИЯНИЕ КАРБИДА ТИТАНА И ВИБРАЦИИ НА ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ И МИКРОСТРУКТУРУ ЛИТОЙ ЛЕГИРОВАННОЙ СТАЛИ

Скворцов Е.В., Исагулов А.З.

НАО «Карагандинский государственный технический университет им. Абылкаса Сагинова»,  
г.Караганда, Казахстан

Увеличение количества извлекаемой руды обуславливает необходимость улучшения качества машин и механизмов для горно-металлургического сектора. Одним из способов повышения эксплуатационной надежности составных частей оборудования является применение деталей с высоким комплексом физико-механических свойств. Износостойкость является важным параметром материала деталей, определяющим эффективность работы оборудования в условиях ударно-абразивного износа.

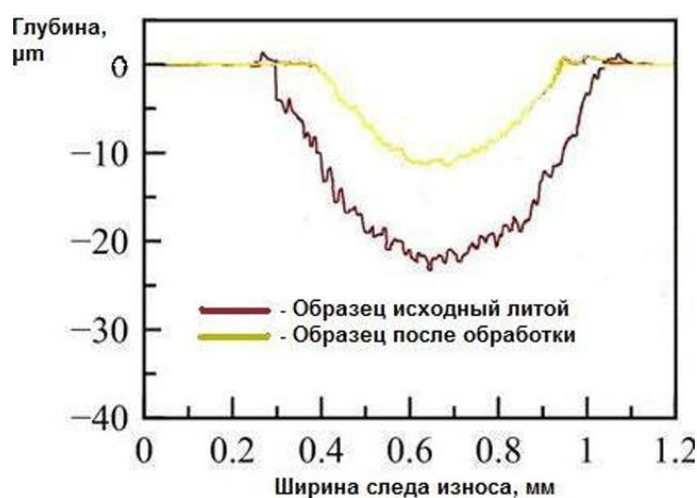
Было проведено исследование влияния комплексного воздействия в виде ультрадисперсного модификатора карбида титана в количестве 0,4% от массы металла дисперсностью 0,5–0,7 мкм и одновременной механической вибрации частотой 45 Гц и амплитудой 0,5 мм затвердевающей расплава на износостойкость литой легированной стали.

С помощью автоматизированного высокотемпературного трибометрического станка трения с использованием конструкции "стержень на диске" были выполнены испытания на истирание исходного и обработанного образцов.

Результаты показали (таблица 1, рисунок 1), что комплексное воздействие в виде ввода модификатора и вибрации затвердевающей металлического расплава привело к снижению параметров следов износа по сравнению с первоначальным литым образцом: глубина ( $R_v$ ) следа износа уменьшилась более, чем в два раза, в то время как ширина ( $b$ ) следа износа уменьшилась на 27 %.

**Таблица 1 – Глубина ( $R_v$ ), ширина ( $b$ ) следов износа (среднее значение)**

№	Образец, вид обработки	$R_v$ , $\mu\text{m}$	$b$ , mm
1	Исходный литой	25,74	0,83
2	Карбид титана + механическая вибрация	12,21	0,57



**Рисунок 1 – Результаты испытаний на истирание: средние размеры и характер следов износа**

Можно предположить, что улучшение трибологических характеристик обработанного сплава было связано с изменением в структуре металла. Для проверки этого предположения было проведено исследование микроструктуры полученных образцов.

Изучение микроструктуры демонстрирует, что комплексная обработка привела к значительным изменениям тестируемого образца (рисунок 2).

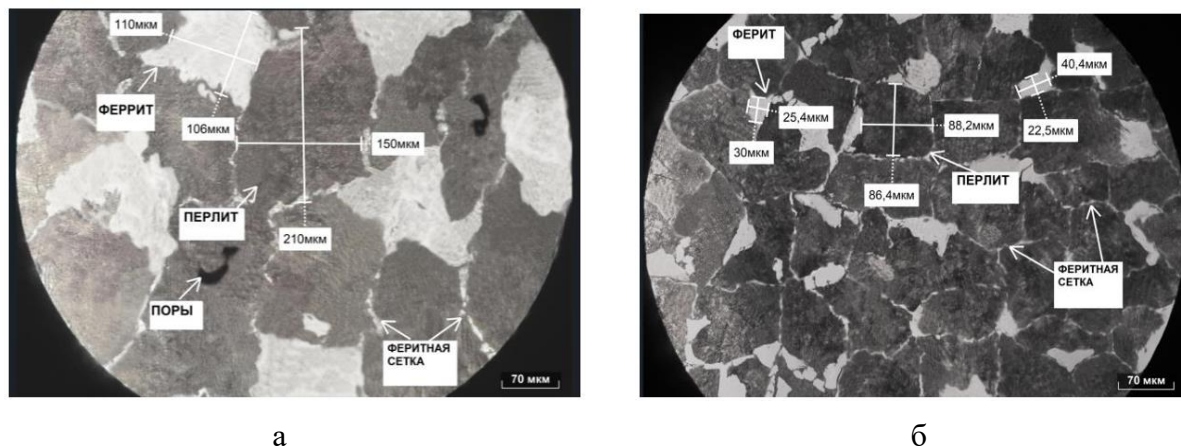


Рисунок 2 – Микроструктура до (а) и после (б) обработки (увеличение 100)

Так, средние размеры перлита (150-210 мкм) в исходном образце (рисунок 2, а) были уменьшены примерно наполовину, а средние размеры феррита (106-110 мкм) были уменьшены примерно в 3 раза. Удалось увеличить общее количество перлита по сравнению с ферритом (рисунок 2, б). Пор и неметаллических включений не наблюдалось в образцах после комплексного воздействия. Данные изменения структуры определенно увеличило прочность металла [2].

Результаты исследования показывают, что комплексное воздействие карбида титана и вибрации приводит к формированию более однородной и мелкодисперсной структуры, снижению дефектности литья и заметному повышению износостойкости по сравнению с контрольными образцами.

### Источники

- 1 Herbert W.D., Shima E., Ehab S., Agnes M.S., Fawzy H.S. The influence of rare earth metals on the microstructure and mechanical properties of 220 and 356.1 alloys for automotive industry // Materials. – 2025. – 18. – 5. – 941.
- 2 Смирнов А.Н., Пилюшенко В.Л., Момот С.В., Амитан В.Н. Затвердевание металлического расплава при внешних воздействиях. - Донецк: ВИК, 2002. – 170 с.

УДК 669.782.053-172

## КОМПЛЕКСНАЯ ПЕРЕРАБОТКА РИСОВОЙ ШЕЛУХИ С ПОЛУЧЕНИЕМ НОВЫХ ПОЛИФУНКЦИОНАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Сухарников Ю.И., Джусупов С.А., Ефремова С.В., Кабланбеков А.А.

*РГП «НЦ КПМС РК», г. Алматы, Казахстан*

**Введение.** Среди огромного разнообразия отходов сырья растительного происхождения особое внимание привлекают отходы рисопереработки – рисовая шелуха. И не только в силу большого ежегодного образующегося их количества (в Казахстане образуется до 100 тыс. тонн, а в мире до 100 млн. тонн в год) и не востребованности, но и вследствие особенностей состава - наличия высокого содержания диоксида кремния и связанного в органических соединениях углерода. Поэтому рисовая шелуха является уникальным сырьевым источником для получения различных кремнеуглеродных и органических продуктов.

Научные исследования в области замены природного углеводородного сырья - сырьем растительного происхождения, в том числе рисовой шелухой, с целью получения кремнистых и углеродных материалов проводятся уже более 100 лет и на эту тему опубликованы десятки монографий и сотни статей и патентов [1-3]. Предложены десятки путей переработки рисовой шелухи, предусматривающие ее применение как топлива, компонента строительных материалов, получение из нее сорбентов, карбидокремниевых и кремниевых материалов и другие [4-6].

Однако, до настоящего времени не создано нигде в мире промышленного производства по комплексной и безотходной переработке рисовой шелухи с одновременным получением кремнеуглерода и органического продукта.

**Цель и задачи исследования.** Обзор и систематизация работ, проведенных по получению из рисовой шелухи новых перспективных материалов, и их испытаниям в различных областях техники и сельского хозяйства.

**Основные результаты.** Нами разработана технология и аппаратура комплексной безотходной переработки рисовой шелухи и создано по гранту Международного Научно-Технического Центра (финансирующая сторона США) опытное производство с получением кремнеуглеродного материала и органического продукта [7]. По результатам отработки технологии на опытном производстве усовершенствована технология [8-9], разработана проектно- конструкторская документация, изготовлено оборудование и создано по гранту коммерциализации АО «Фонд науки» производство по переработке 4200 тонн рисовой шелухи в год, которое позволяет получать до 1500 тонн кремнеуглерода.

Производственный комплекс состоит из аппаратов пиролиза рисовой шелухи, охлаждения кремнеуглерода, конденсации органического продукта из пиролизного газа и утилизации неконденсируемой его части.

Одно из преимуществ этой технологии то, что она энергосберегающая, так как процесс термической деструкции рисовой шелухи при температуре выше 300 °С является экзотермическим.

Электрический нагрев реактора пиролиза необходим только при запуске производства и нагреве его до 300-400°С. В последующем нагрев поступающей рисовой шелухи осуществляется за счет выделяющегося тепла при пиролизе и протекает при 550-600°С.

Сущностью разработанной технологии является проведение процесса пиролиза рисовой шелухи в герметичном реакторе при температуре 550-600 °С, где происходит термическая деструкция ее составляющих с образованием кремнеуглерода и

пиролизного газа. Кремнеуглерод из реактора направляется в аппарат охлаждения и далее на его расфасовку как товарный продукт.

Пиролизный газ направляется в аппарат конденсации и далее образующийся жидкий органический продукт фасуется в канистры. Неконденсируемая часть пиролизного газа направляется в аппарат дожигания, а продукты сжигания ( $N_2$ ,  $CO_2$ ,  $H_2O$ ) в дымовую трубу на выброс. Вредных выбросов и отходов производства нет.

Кремнеуглерод является наноструктурным композитом [10] с размерами частиц 20-100 нм и содержит 48-53 % углерода и 36-40 % диоксида кремния находящихся в аморфной форме, а также 12-18 % углеводов. Он химически инертен и стабилен при хранении, не содержит токсичных веществ, не обладает канцерогенными и вредными для человека и животных свойствами.

Кремнеуглерод испытан как наполнитель резинотехнических [11] и конструкционных углеродных [12] изделий. Его введение улучшает условную прочность резин (на 10-12%), относительное удлинение (на 8-12%), эластичность изделий, снижает себестоимость. В углеродных изделиях, в частности, тормозных устройствах самолетов и скоростных поездов повышает на 10-12 % механические и триботехнические характеристики, снижается линейный износ (на 15-20%) и тормозной путь самолетов во влажной атмосфере (до 50%).

Может быть использован при изготовлении различных изделий из фрикционных и антифрикционных углеродных материалов.

Кремнеуглерод испытан как биологически активная углеродминеральная добавка в рационе сельскохозяйственной птицы [13-14]. Он обладает высокой скоростью связывания широкого спектра мико- и энтеротоксинов и низким сродством к витаминам, микроэлементам, антибиотикам. Способствует увеличению высоты кишечных ворсинок и глубины крипт слизистой оболочки пищеварительного тракта. Устраняет зловонный запах на ферме за счет инактивации компонентов гниения.

Не теряет своих свойств при общепринятых температурных обработках кормов (экспонирование, экструдирование, гранулирование)

Эффективен в профилактике микотоксикозов птицы и обеспечивает повышение качества продукции.

Благодаря нахождения диоксида кремния в аморфной форме повышается его усвоение организмом птицы, что обеспечивает укрепление эпителиальных и костных тканей.

Его введение в рацион сельскохозяйственной птицы в количестве 0,5-2 % повышает сохранность поголовья на 5-15%, снижает расход корма на 5-7 % на единицу привеса, среднесуточный привес бройлерных цыплят повышается на 3,5-5%, яйценоскость кур-несушек повышается на 3-5%, толщина скорлупы повышается на 3-4 %, снижается бой яиц на 3-5 %.

Кремнеуглерод является исходным сырьем для получения композитов углерод-карбид кремния бета модификации ( $C-\beta SiC$ ). Для получения этого композита за счет средств договора с научно-исследовательским отделом военно-воздушных сил США (одно из подразделений НАСА) создано опытная плазмохимическая установка [15]. В свою очередь из этого композита могут быть получены нитевидные кристаллы  $\beta SiC$  [16].

Кремнеуглерод может быть использован для выплавки кремниевых сплавов [17-19], в том числе технического кремния, низкоалюминиевого ферросилиция, а также как сорбент [20].

Органический продукт содержит 45-55% алифатических и 22-28% ароматических углеводов. В его состав входит большая группа фенолов, органических кислот и спиртов.

Он является основой эффективного дезинфеканта в ветеринарии [21], стимулятора роста растений [22], а также флотореагента [23-24].

Органический продукт в виде 10%-ного водного раствора обладает выраженной бактерицидной и фунгицидной активностью в отношении большой группы бактерий и микотоксинов (грибки, сальмонелла, кишечная и туберкулезная палочки и другие) и может быть эффективно использован для дезинфекции при туберкулезе животных в хозяйствах неблагополучных по туберкулезу, а также по другим бактериям.

Органический продукт в виде 0,3-0,6 %-ного водного раствора испытан как стимулятор роста растений по эффективности на энергию прорастания и всхожесть семян риса, овса, пшеницы, кукурузы, сои, подсолнечника и сафлора. Установлено, что он по сравнению с контролем (необработанные семена) повышает с 25 до 29 % энергию прорастания, с 89 до 94 % всхожесть и от 14 до 29% (для разных культур) биологический урожай.

Является крупным источником сырья для получения различных органических кислот, фенолов и спиртов.

### **Выводы**

Впервые в Казахстане и мире создано инновационное производство по термической переработке рисовой шелухи с получением полифункциональных материалов – кремнеуглерода и органического продукта. Новые материалы испытаны в различных областях техники и сельского хозяйства и показали высокую эффективность.

Это обеспечивает импортозамещение аналогичной продукции предприятиями Казахстана и возможность заключения сделок по продаже данной технологии другим рисосеющим странам.

А также решает экологическую – по утилизации неиспользуемых, направляемых отвалы отходов рисопереработки наносящих ущерб окружающей среде, и социальную задачу по созданию новых рабочих мест в трудоизбыточных регионах.

### **Источники**

- 1 Сергиенко В.И., Земнухова Л.А., Егоров А.Г. и др. Возобновляемые источники химического сырья: комплексная переработка отходов производства риса и гречихи // Рос. хим. ж. (Ж. Рос. хим. об-ва им. Д.И. Менделеева), 2004. – Т. 48. – № 3. – С. 116-124.
- 2 Lathrop E.C. Industrial utilization of rice hulls // Rice J. Ann. Issue, 1952.-P. 13.
- 3 Патент №2191158 Российской Федерации. Реферат Способ подготовки рисовой шелухи для получения высокочистого диоксида кремния / Виноградов В.В., Виноградова Е.П.; опубл 20.10.02, Бюл. №29. – С. 315.
- 4 Темердашев З.А. Разработка и эколого-аналитическое обеспечение термических схем переработки рисовой лузги: автореф. д-ра хим. Наук: 03.00.16, 02.00.02 – Краснодар: КубГУ 1999. - 32 с.
- 5 Щибря А.Ю. Эффективный теплоизоляционный материал из поризованного арболита на рисовой лузге: автореф. ... канд. тех. наук: 05.23.05. - Ростов-на-Дону, 2000. – 20 с.
- 6 Нгуен Тиен Хоа. Высококачественный бетон с использованием золы рисовой шелухи в условиях жаркого влажного климата Вьетнама: автореф. ... канд. тех. наук: 05.23.05. – М., 2005. – 17 с.
- 7 Сухарников Ю.И., Ефремова С.В., Джусупов С.А., Бунчук Л.В. Комплексная переработка рисовой шелухи и перспективы использование получаемых материалов // Известия НАН РК, серия химическая, 2007 №2 (362). – С. 14-17
- 8 Патент РК № 8997. Способ получения полифункционального кремнеуглеродного материала // Сухарников Ю.И., Жарменов А.А, Джусупов С.А., Ефремова С.В., Ермишин С.В., опубл. 12.04.2024 г.
- 9 Патент РК № 34661. Аппарат для охлаждения углеродсодержащих материалов /

- Сухарников Ю.И., Ташимбетов Р.Н., Джусупов С.А., Анарбеков К.К., опубли., 30.10.2020 г, БИ № 43.
- 10 Ефремова С.В., Королев Ю.М., Сухарников Ю.И. Рентгенографическая характеристика кремнеуглеродных нанокompозитов из рисовой шелухи // Доклады академии наук РФ, 2008, т. 419. – №1. – С. 77-80.
  - 11 Сухарников Ю.И., Ефремова С.В., Бунчук Л.В., Джусупов С.А. Кремнеуглеродные наполнители резинотехнических и конструкционных углеродных материалов // Промышленность Казахстана, №2 (101), 2017. – С.37-39.
  - 12 Y. Sukharnikov, D. Aitkulov, S. Dzhusupov, A. Kablanbekov Production of C-SiO<sub>2</sub> Composite from Waste Plant Raw Materials and Its Use as a Filler of Structural Carbon Materials. // J. Evergreen, Vol. 11, Issue 02, pp 682-692, June, 2024, Q 2, percentile 60.
  - 13 С. Ефремова, Ю. Сухарников, Н. Сарсенбаева, Т. Абдигалиева. Биологическая активность углеродминеральной кормовой добавки при кормлении бройлерных цыплят // Промышленность Казахстана, № 2 (95). – 2016. – С. 29-33.
  - 14 Сухарников Ю.И., Толстова Н.И., Егоров Н.П. Кремнеуглерод – новая кормовая добавка для птицеводства // Агропромышленная информация. Актуальные вопросы птицеводства в Казахстане. Алматы, 1997.
  - 15 Yu. Sukharnikov, S. Yefremova, L. Bunchuk, A. Zharmenov. Development and test of Technology and Equipment for Synthesis of Silicon-Carbide composites // Materials of 2-nd international Russian-Kazakh Scientific – practice school conference “Chemical Technology of Functional materials”, Almaty, May 26-27. – 2016. – С. 204-208.
  - 16 Сухарников Ю.И., Арещенко Н.Г., Бунчук Л.В. Получение НК и дисперсных порошков карбида кремния из рисовой шелухи и их некоторые свойства // Материалы 7 международного симпозиума по композитным металлическим материалам Стара Лесна, ЧСФР, 1990.
  - 17 Sukharnikov Yu., Yefremova S., Bunchuk L., Anarbekov K. Silicon production using alternative raw material source // J. Mineral Engineering Poland. Vol. 2, 2017 (SJR:22). – P. 145- 150.
  - 18 Муртазаева Д.Б, Ефремова С.В., Кошкарбаева Ш., Сухарников Ю.И. Шихта из кремнеуглерода для выплавки высокочистых кремниевых сплавов // Промышленность Казахстана, №6. – 2016. – С. 23-26.
  - 19 Y.I. Sukharnikov, A. Rusowicz, B. I. Dikhanbaev, S. V. Yefremova, A. A. Zharmenov Development of technology for wasteless processing of rice husk // Rynek Energii. Nr 4(143). - 2019. - P. 60-70. Scopus: SJR (2018)-0,16., Percent 26.
  - 20 Жарменов А.А., Ефремова С.В., Сухарников Ю.И., Бунчук Л.В., Кабланбеков А.А. Способ получения углеродного сорбента // Патент № 32014., 28.04.2017, БИ. № 8.
  - 21 Sukharnikov Yu. I., Esengaraev E.K., Turgenbaev A.T., Iskakov M. Sh., Production, Properties and Use of the Rice Hulls Pyrolysis Organic Product as a Disinfectant // World Journal of Veterinary Medicine & Engineering Vol. 1, No. 1, July 2015, pp. 1- 9.
  - 22 Sukharnikov Yu., Tleukulov A.T. The Use of the Organic Product of Rice Hulls Pyrolysis as a Plant Growth Stimulant. // Word Journal of plant Sciences and Engineering, Vol.1, No 1, July, 2015, pp. 1-11.
  - 23 Yefremova S.V., Sukharnikov Yu.I., Bunchuk L.V., Kablanbekov A.A. Development of a new flotation reagent based on rice husk //26- th international symposium on Mine planning and Equipment selection, Sweden, 29-31 August, 2017, p.265-270.
  - 24 Ефремова С.В., Сухарников Ю.И., Бунчук Л.В., Э. Ли. Опытно-промышленные испытания флотореагента из рисовой шелухи в качестве вспенивателя // Промышленность Казахстана, №1 (100). – 2017. – С. 27-28.

УДК 621.762

## ФЕРРОХРОМДЫ ПАЙДАЛАНА ОТЫРЫП КОРРОЗИЯҒА ТӨЗІМДІ БОЛАТТЫҢ ҰНТАҚ ҚОСПАСЫН ӘЗІРЛЕУ

Төлеуқадыр Р.Т.<sup>1,2</sup>, Ахметов А.С.<sup>1</sup>, Жунусов А.К.<sup>2</sup>, Заякин О.В.<sup>3</sup>, Махамбетов Е.Н.<sup>1</sup>,  
Аяганова Ж.Т.<sup>1,4</sup>

<sup>1</sup>Ж. Әбішев атындағы Химия-металлургия институты, Қарағанды қ., Қазақстан,

<sup>2</sup>Toraighyrov university (TOU), Павлодар қ., Қазақстан,

<sup>3</sup>Ресей Ғылым академиясы Урал бөлімшесінің академик Н.А. Ватолін атындағы  
Металлургия институты, Екатеринбург қ., Ресей,

<sup>4</sup>МИСИС Ғылым және технология университеті, Ресей, 119049, Мәскеу қ., Ресей

Болат ұнтақтарын өндірудің түрлі тәсілдері бар, олардың ішінде өндірісте ең кең қолданылатыны – балқыманы шашырату әдісі. Бұл әдіс болат балқымасын газ немесе су ағынымен диспергирлеу арқылы сфералық пішінді ұнтақ бөлшектерін алуға негізделген [1]. Оның артықшылығы – салыстырмалы арзан әрі химиялық құрамы біркелкі ұнтақтар алу мүмкіндігі, ал кемшілігі – бөлшектердің жоғары қаттылығы, соның салдарынан тығыздау үшін қымбат ыстық престоу әдістерін қолдану қажеттілігі [2].

Сондықтан тәжірибеде болат ұнтақ қоспалары жиі пайдаланылады. Мұндай қоспалар темір ұнтағына легирлеуші элементтер мен көміртек көзін қосу арқылы дайындалады, ал коррозияға төзімді болаттар үшін негізгі легирлеуші элемент – хром болып табылады. Сонымен қатар диффузиялық легирленген ұнтақтар да қолданылады, алайда элементар хром ұнтағының қымбаттылығы және хром оксидінің сутегімен қиын тотықсыздануы бұл тәсілдің қолданылуын шектейді [3].

Осыған байланысты ұнтақ металлургиясында ферроқорытпаларды легирлеуші элемент көзі ретінде пайдалану перспективалы бағыт болып саналады. Ферроқорытпалар арзан, диффузия қабілеті жоғары және қажетті элементтердің оңтайлы құрамын қамтамасыз ете алады. Сонымен қатар олардың өздігінен ұсақталу қасиеті де технологиялық тұрғыдан тиімді.

Осы жұмыстың мақсаты – илемдеу отқабыршағынан алынған темір ұнтағы мен феррохром негізінде коррозияға төзімді болаттың ұнтақ қоспасын алу мүмкіндігін зерттеу. Бастапқы материалдар ретінде илемдеу отқабыршағы және өздігінен ұсақталатын ФХ800А ЖКФХ ұнтағы қолданылды. Кесте 1-де бастапқы материалдардың химиялық құрамдары көрсетілген.

### Кесте 1 – Бастапқы материалдардың химиялық құрамы

Материал	Элементтің үлесі, %										
	O	Na	S	Al	Si	Ca	Mn	Fe	Cr	P	C
Илемдеу отқабыршағы	40,22	5,12	0,16	1,28	4,02	8,45	0,40	40,35	-	-	-
ЖКФХ ұнтағы	-	-	0,06	-	2	-	-	ост.	75,0	0,03	7,0

Илемдеу отқабыршағы бастапқы түрде тек металл емес қоспаларға ие болуға қоса майлы болды. Отқабыршақ ультрадыбыстық ваннада әртүрлі орталарда тазаланды (35-40 кГц, 60 минут). Тазаланған отқабыршақ сутегі ағынында 1050 °С температурада 60 минут тотықсыздандырылды. Алынған кеуекті өнім ПЦД 800 айн/мин жылдамдықпен 30 минут ұнтақталды. Ұнтақ 250 мкм електен өткізілді. Кейін темір ұнтағы мен ЖКФХ ұнтағы 4:1 массалық қатынаста араластырылып, сол режимде механикалық өңделді.

Микроструктуралық зерттеулер ZepTools ZEM20 (ZepTools, ҚХР) электрондық микроскопында және Oxford Oxford (Oxford Instruments, Ұлыбритания) EDS жүйесінде жүргізілді.

Алдын ала тазаланған отқабыршақ шарлы диірменде ұнтақталып, ұяшық өлшемі 250 мкм електен өткізілді, содан соң 1050 °С температурада сутегі ағынында 60 минут бойы тотықсыздандыру процесіне ұшыратылды. Алынған тотықсыздандырылған отқабыршақ ПЦД-де механикалық өңдеуден өткізілді. Кейін осы режим сақтала отырып, ПЦД-де өңделген тотықсыздандырылған отқабыршақ өздігінен ұсақталатын ЖКФХ ұнтағымен ПЦД-де араластырылды.

ZepTools ZEM20 (ZepTools, ҚХР) микроскопының көмегімен алынған суретте ЖКФХ жекелеген бөлшектерінің сегрегациясыз хромның біркелкі таралуы байқалады. ЖКФХ-қа ілеспе элемент болып табылатын кремний де қоспа құрамында бар. Легирлеуші элементтердің мұндай таралуы ПЦД-де жоғары энергиялы өңдеу барысында пайда болатын механикалық легирлеумен түсіндіріледі [4]. ЖКФХ-тың анағұрлым морт бөлшектері ұсақталып, тотықсыздандырылған темір ұнтағының беті бойынша біркелкі таралады, ал ұнтақтағыш денелермен соқтығысулар оксидтік қабықшалардың жойылуын, ақаулардың жиналуын және бөлшектердің активтенуін қамтамасыз етеді. Нәтижесінде таза, реакцияға қабілетті беттер қалыптасады және кристалдық тордың ақаулылығы артады, бұл диффузияның энергетикалық тосқауылын төмендетіп, кейінгі жентектелу кезінде хром мен кремнийдің темір матрицасына тиімді енуін жақсартады. Осылайша, механикалық легирлеу легирлеуші элементтердің біркелкі таралуын ғана емес, сонымен қатар қоспаның активтелген күйін қалыптастырып, жеделдетілген күйдіруге және анағұрлым біртекті микроструктураның түзілуіне ықпал етеді.

Ұнтақ қоспасының нәтижесіндегі құрамы, %: 15,00 Cr; 1,40 C; 0,24 Mn; 0,40 Si; 0,060 P; 0,012 S және қалғаны Fe. Бұл ұнтақ қоспасының құрамы коррозияға төзімді болаттардың 65X13 және 95X18 маркаларының құрамына жақын, алайда көміртек мөлшері сәл жоғары (көрсетілген маркаларда C, %: 0,6-0,70 және 0,90-1,00) және фосфор мөлшері де салыстырмалы түрде жоғары (көрсетілген маркаларда P, %: 0,30-дан аспауы тиіс). Соған қарамастан, алынған нәтиже әдістің принциптік тұрғыдан іске асырылу мүмкіндігін дәлелдейді, ал әрі қарай сәйкес феррохром маркасын таңдау және/немесе көміртексіздендіру әдістерін қолдану қажетті құрамдағы ұнтақ қоспасын алуға мүмкіндік береді.

Қарастырылып отырған коррозияға төзімді болат ұнтақ қоспасын алу тәсілінің тиімділігі алдағы зерттеулерде тәжірибе жүзінде негізделеді деп жоспарлануда. Атап айтқанда, ЖКФХ құрамындағы көміртек мөлшерінің жоғары болуына байланысты коррозияға төзімді болаттарға қойылатын талаптарға сай келмейтін ұнтақ қоспасын көміртексіздендіру мүмкіндігі қарастырылатын болады. Бұл көміртексіздендіру процесін сутегі атмосферасында немесе вакуумда жүргізуге болады, ал бөлшектердің жоғары дисперстілігі мен реакциялық белсенділігі бұл үдерістің тиімді өтуіне ықпал етеді.

Жүргізілген зерттеу жұмыстары нәтижесінде келесідей қорытынды жасауға болады: Ультрадыбыстық тазалау, сутегімен тотықсыздандыру және жоғары энергиялы механикалық өңдеу процестерін бірге қолдану жоғары дисперстілігі мен жоғары реакциялық қабілеті бар темір ұнтағын алуды қамтамасыз ететіні көрсетілді.

Тотықсыздандырылған темір ұнтағы мен ФХ800А феррохромы қоспасын механикалық өңдеу нәтижесінде механикалық легирлеу жүріп, хром мен кремний бөлшек көлемі бойынша біркелкі таралады, бұл РЭМ және элементтердің таралу карталарын құру арқылы дәлелденді.

Алынған қоспаның химиялық құрамы (15 % Cr, 1,40 % C, 0,40 % Si, 0,24 % Mn, қалған бөлігі Fe) 65X13 және 95X18 маркалы коррозияға төзімді болаттардың құрамына жақын болғанымен, көміртек мөлшерін қосымша төмендету қажеттігін көрсетеді. ЖКФХ қолдану элементарлы хромға тиімді әрі экономикалық жағынан негізделген

балама ретінде дәлелденді; алынған қоспа коррозияға төзімді болатты кейіннен алу үшін қолайлы, ал болашақ зерттеулер көміртексіздендіру тәсілдерін жетілдіруге және жентектелген үлгілердің қасиеттерін зерттеуге бағытталуы тиіс.

### Әдебиеттер

- 1 Rafael A.M., Celso A.B. High-Speed Steels Produced by Conventional Casting, Spray Forming and Powder Metallurgy // *Materials Science Forum*. – 2025. Vol. 498-499. – P. 244-250 <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.498-499.244>
- 2 Roland WARZEL III. High Performance Stainless Steel Mixes // *Journal of the Japan Society of Powder and Powder Metallurgy*. – 2016. Vol. 63. – P. 591-594 <https://doi.org/10.2497/jjspm.63.591>
- 3 A. S. Akhmetov, Zh. V. Eremeeva Study of the Process of Diffusion Alloying of Mixture for Powdered High Speed Steel // *Inorganic Materials: Applied Research*. – 2022. Vol. 13. – P. 138– 140 <https://doi.org/10.1134/S2075113322010038>
- 4 Leong Kean Wei, Shayfull Zamree Abd Rahim, Mohd Mustafa Al Bakri Abdullah, Alice Tan Mun Yin, Mohd Fathullah Ghazali, Mohd Firdaus Omar, Ovidiu Nemes, Andrei Victor Sandu, Petrica Vizureanu and Abdellah El-hadj Abdellah. Producing Metal Powder from Machining Chips Using Ball Milling Process: A Review // *Materials*. – 2023, 16(13), 4635. – P. 43 <https://www.mdpi.com/1996-1944/16/13/4635>

УДК 669.713/782:541.12

## ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СТРУКТУРЫ РАСПЛАВА НА ОСНОВЕ ПОВЕДЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА БЬЕРРУМА-ГУГГЕНГЕЙМА В СИСТЕМЕ Fe-Si-Al-Ca-Mg-Zn-Pb

Толоконникова В.В., Байсанов С., Корсукова И.Я., Нарикбаева Г.И.

*Филиал РГП «НЦ КПМС РК» «ХМИ им. Ж. Абишева», г. Караганда, Казахстан*

При пирометаллургической переработке комплексных руд Шалкийского месторождения актуальной задачей является анализ поведения компонентов в расплавленной среде. Исследование направлено на выявление возможного формирования сложных тугоплавких соединений, которые могут привести к росту энергетических затрат. Одновременно нужно экспериментально определить степень возгонки таких летучих металлов, как свинец и цинк, что важно для оценки полноты извлечения и экологической безопасности процесса.

Цель работы – оценить степень возгонки цинка, свинца в бинарных расплавах общей системы Fe-Si-Al-Ca-Mg-Zn-Pb через характер поведения осмотического коэффициента Бьеррума-Гуггенгейма.

Для получения знаний о характере поведения цинка и свинца (будут ли образовываться сложные высокотемпературные соединения) в комплексных сплавах применили метод математического описания линий фазовых равновесий на основе концепции Бьеррума-Гуггенгейма [1]. Характер изменения осмотического коэффициента Бьеррума-Гуггенгейма от отношения активности компонентов в идеальной жидкой и твердой фазах (положительный  $\Phi_i < 1$  или отрицательный  $\Phi_i > 1$ ) позволяет определить характер межчастичного взаимодействия в жидкой фазе. Полученные результаты являются прямым доказательством того, что в расплаве цинк и свинец будут образовывать летучие фракции.

Для расчета численных значений осмотического коэффициента Бьеррума-Гуггенгейма и построения графиков зависимости ( $\Phi_i$ ) от активности вблизи температуры плавления устойчивых конгруэнтных соединений сформированы исходные данные для областей кристаллизации конгруэнтно плавящихся соединений бинарных систем Fe-Si, Fe-Al, Fe-Ca, Fe-Pb, Fe-Zn, Fe-Mg, Ca-Pb, Ca-Zn, Ca-Mg, Ca-Al, Ca-Si, Mg-Pb, Mg-Zn, Mg-Si, Mg-Al, Si-Pb, Si-Zn, Al-Si, Al-Pb, Al-Zn, Pb-Zn.

Все диаграммы состояния с образованием конгруэнтно плавящихся соединений могут быть разбиты на две группы по форме (радиус кривизны) с острым и пологим максимумом. Совершенно недиссоциирующему при плавлении соединению отвечают острые (сингулярные) максимумы кривых ликвидуса и солидуса как в жидкой так и в твердой фазах. Радиусы кривизны линий ликвидус в этих точках равны нулю. Если диссоциация происходит и в той, и в другой фазах оба максимума плавные.

Нами проведен теоретический анализ поведения графиков коэффициентов Бьеррума-Гуггенгейма вблизи температур плавления химических соединений.

Полученные результаты позволили сделать заключение об универсальности предлагаемого метода аналитического описания диаграмм состояний с позиции концепции Бьеррума-Гуггенгейма [2].

Имеющиеся экспериментальные результаты на бинарных диаграммах состояния содержат для каждой точки линии ликвидус и солидус две координаты, а именно: концентрацию кристаллизующегося компонента  $X_i^{L(S)}$  и температуру  $K$ .

Для формирования исходных данных и построения графиков зависимости коэффициента Бьеррума-Гуггенгейма ( $\Phi'_i$  и  $\Phi''_i$ ) от отношения активности в жидкой и твердой фазах по уравнению Шредера-Ле-Шателье (1):

$$\ln \frac{a_{i,id}^L}{a_{i,id}^S} = \frac{\Delta H_{m,i,l}}{R} \left( \frac{1}{T_{m,i,l}} - \frac{1}{T} \right) + \int_T^{T_{m,i,l}} \left[ \frac{1}{RT^2} \int_T^{T_{m,i,l}} \Delta C_{p,l} dT \right] dT, \quad (1)$$

были использованы экспериментальные данные различных модельных бинарных систем для получения этих значений при конкретной температуре  $T_{пл}$  по уравнениям:

$$\Phi_i = \frac{\ln(a_1^L/a_1^S)}{\ln(x_1^L/x_1^S)} \quad \text{и} \quad \Phi_i = \frac{\ln(a_1^L/a_1^S)}{\ln x_1^L}, \quad (2)$$

где  $x_1^{L(S)}$  - концентрация кристаллизующегося компонента при данной температуре;  $a_1^{L(S)}$  - активность кристаллизующегося компонента для идеального раствора, рассчитываемая по уравнению (2).

Суть метода заключается в нахождении коэффициента Бьеррума-Гуггенгейма ( $\Phi_i'$  и  $\Phi_i''$ ) вдоль линий ликвидус и солидус в виде зависимостей (3,4):

$$\Phi_i' = (\ln a_i^L / \ln a_i^S) / (\ln x_i^L / x_i^S) = (A_i + B_i) \cdot a_i^L / a_i^S, \quad (3)$$

$$\Phi_i'' = (\ln a_i^L / \ln a_i^S) / \ln x_i^L = (M_i + N_i) \cdot a_i^L / a_i^S. \quad (4)$$

Которые в свою очередь позволили вывести полуэмпирические зависимости для расчета линий ликвидуса и солидуса каждой кристаллизующейся фазы рассматриваемой системы:

$$\ln x_i^L = \frac{\Delta H_{m,i}}{R} \left( \frac{1}{T_{m,i}} - \frac{1}{T} \right) \cdot \Phi_i'', \quad (5)$$

$$\ln x_i^S = \frac{\Delta H_{m,i}}{R} \left( \frac{1}{T_{m,i}} - \frac{1}{T} \right) \cdot \left( \frac{1}{\Phi_i''} - \frac{1}{\Phi_i'} \right), \quad (6)$$

где  $\Delta H_{m,1(2)}$  - энтальпия плавления 1 и 2-го компонентов при температуре плавления, Дж/моль;  $R$  - универсальная газовая постоянная, 8,3144 Дж/моль К;  $T_{m,1(2)}$  и  $T$  - температура плавления 1 и 2-го компонентов и кристаллизации расплавов, К;  $\Phi_i'$  - коэффициент Бьеррума-Гуггенгейма для 1 и 2-го компонентов, позволяющий найти корреляционную зависимость и получить математическое выражение для отношения активностей  $i$ -компонента в жидкой и твердой фазах по уравнению (5);  $\Phi_i''$  - коэффициент Бьеррума-Гуггенгейма для 1 и 2-го компонентов, позволяющий найти корреляционную зависимость и получить математическое выражение для линии ликвидус  $i$ -компонента по уравнению (6).

Для зависимостей (5), (6) коэффициенты уравнений вычисляются методом наименьших квадратов, с установлением коэффициента корреляции  $R_{xy}$  (для линейной зависимости) или по криволинейной зависимости по дисперсии сходимости  $\sigma$  (для нелинейной зависимости). Все расчеты выполняются с помощью программ, написанных на языке Delphi. С помощью составленных нами программ были изучены фазовые равновесия многочисленных бинарных систем.

Обработка полученных результатов методом наименьших квадратов позволяет найти значения констант и коэффициентов корреляции для различных систем и вывести

аналитические выражения полей кристаллизации фаз для любой квазисистемы (для частной системы).

Например, диаграмма состояния на рисунке 1 построена на основании результатов работ [3]. Система характеризуется широкой областью существования твердого раствора на основе  $\delta$ -Fe, наличием замкнутой  $\gamma$  области и существованием четырех соединений в богатой цинком области. Экспериментальные трудности в приготовлении сплавов с цинком связаны с высоким давлением пара Zn [4].

По данной ДС (рисунок 1) нас интересовал вопрос «Какие силы связи наблюдаются в широкой области неограниченной растворимости компонентов друг в друге?». Были проведены теоретические расчеты по исследованию поведения осмотического коэффициента Бьеррума-Гуггенгейма в расплаве.

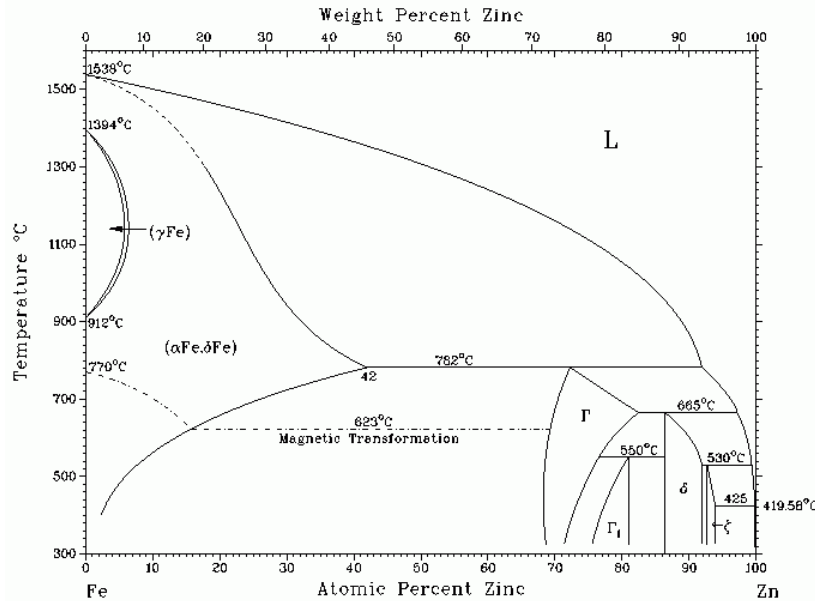


Рисунок 1 – Диаграмма состояния Fe- Zn

Для области кристаллизации  $\delta$ -Fe системы Fe-Zn в таблице 1 приведены исходные данные по составу и температуре согласно принятым термодинамическим данным  $\Delta H_{m,Fe} = 15190,38$  Дж/Моль и  $T_{m,Fe} = 1811$  К;  $\Delta H_{m,Zn} = 7240$  Дж/Моль  $T_{m,Zn} = 693$  К [5]-[7].

Согласно данным таблицы 1 построили графики зависимости для двух видов осмотического коэффициента Бьеррума-Гуггенгейма  $\Phi''_{Fe}$  и  $\Phi'_{Fe}$  (рисунок 2 и 3).

Методом МНК получены математические выражения осмотического коэффициента Бьеррума-Гуггенгейма (7) и (8), позволяющие рассчитать состав железа жидкой и твердой фаз (9), (10):

$$\Phi''_{Fe} = 0,4317 - 0,2638 \cdot a_{Fe}^L / a_{Fe}^S \quad R_{xy} = -0,9987 \quad (7)$$

$$\Phi'_{Fe} = 0,5957 - 0,4280 \cdot a_{Fe}^L / a_{Fe}^S \quad R_{xy} = -0,9991 \quad (8)$$

Состав для жидкой и твердой фаз рассчитывали по уравнению (9) и (10):

$$x_{Fe,расч.}^L = \ln a_{Fe}^L / a_{Fe}^S / \Phi''_{Fe,расч.} \quad (9)$$

$$x_{Fe,расч.}^S = \ln a_{Fe}^L / a_{Fe}^S / (1/\Phi''_{Fe,расч.} - 1/\Phi'_{Fe,расч.}) \quad (10)$$

Таблица 1 – Исходные данные для области кристаллизации  $\delta$ -Fe системы Fe-Zn

T, K	$x_{Fe}^L$	$x_{Fe}^S$	$x_{Fe}^L / x_{Fe}^S$	$\ln x_{Fe}^L / x_{Fe}^S$	$\ln a_{Fe}^L / a_{Fe}^S$	$a_{Fe}^L / a_{Fe}^S$	$\Phi_{Fe}'$	$\Phi_{Fe}''$
1811	1	1	1,0000	0,0000	0,0000	1,0000	0	0
1773	0,88	0,999	0,8889	-0,1178	-0,0216	0,9786	0,1705	0,1691
1723	0,75	0,99	0,8333	-0,1823	-0,0515	0,9498	0,1856	0,1791
1673	0,643	0,97	0,7477	-0,2908	-0,0832	0,9202	0,2024	0,1884
1623	0,553	0,95	0,6623	-0,4121	-0,1169	0,8897	0,2160	0,1973
1573	0,48	0,93	0,5911	-0,5257	-0,1526	0,8584	0,2308	0,2080
1523	0,416	0,906	0,5266	-0,6413	-0,1908	0,8263	0,2451	0,2175
1473	0,355	0,867	0,4551	-0,7872	-0,2315	0,7933	0,2593	0,2235
1423	0,306	0,84	0,3964	-0,9254	-0,2751	0,7595	0,2724	0,2323
1373	0,264	0,813	0,3497	-1,0508	-0,3218	0,7248	0,2861	0,2417
1323	0,225	0,77	0,3049	-1,1878	-0,3721	0,6893	0,3025	0,2495
1273	0,194	0,742	0,2709	-1,3058	-0,4264	0,6529	0,3178	0,2600
1223	0,166	0,715	0,2371	-1,4391	-0,4850	0,6157	0,3322	0,2701
1173	0,14	0,68	0,2065	-1,5775	-0,5487	0,5777	0,3472	0,2791
1123	0,118	0,65	0,1802	-1,7140	-0,6181	0,5390	0,3622	0,2892
1055	0,09	0,588	0,1531	-1,8769	-0,7229	0,4853	0,3852	0,3002

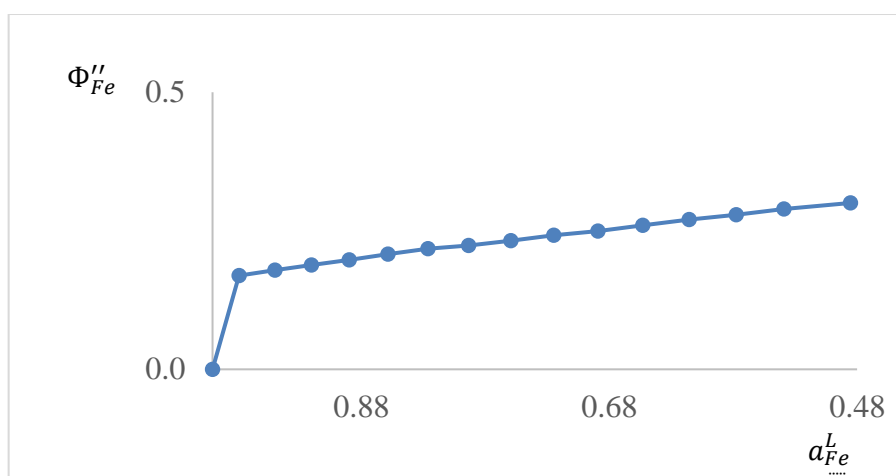
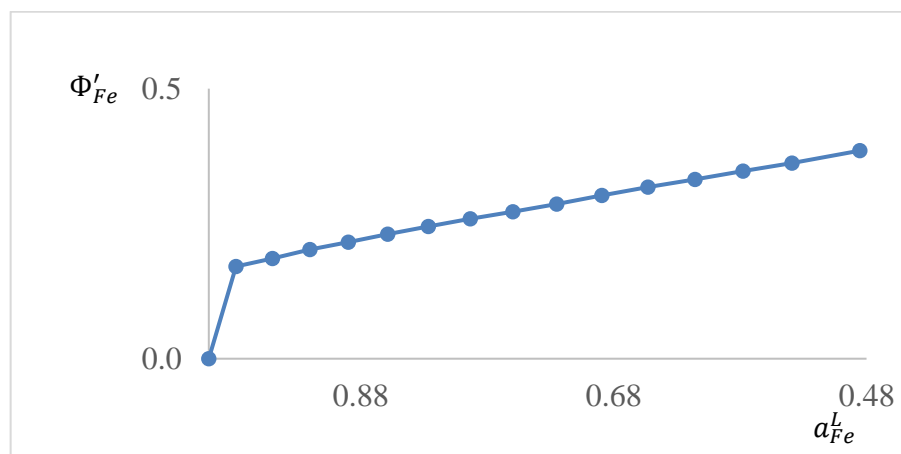


Рисунок 2 – График зависимости осмотического коэффициента Бьеррума-Гуггенгейма  $\Phi_{Fe}''$  от отношения активности жидкой и твердой фаз для идеального состояния  $a_{Fe}^L / a_{Fe}^S$  для области кристаллизации  $\delta$ -Fe системы Fe-Zn

Полученные математические выражения линий ликвидус и солидус (9) и (10) позволили сопоставить расчетные и опытные данные, представленные в таблице 2.

Результаты сравнительно анализа показывают, что полученные математические выражения линий моновариантных фазовых равновесий очень хорошо совпадают с опытными данными и между компонентами присутствуют только ван-дер-ваальсовские силы взаимодействия.



**Рисунок 3 – График зависимости осмотического коэффициента Бьеррума-Гуггенгейма  $\Phi'_{Fe}$  от отношения активности жидкой и твердой фаз для идеального состояния  $a_{Fe}^L / a_{Fe}^S$  для области кристаллизации  $\delta$ -Fe системы Fe-Zn**

**Таблица 2 – Сравнительный анализ расчетных и опытных данных для области кристаллизации  $\delta$ -Fe системы Fe-Zn**

$\Phi''_{Fe_{он.}}$	$\Phi''_{Fe_{расч.}}$	$\Phi'_{Fe_{он.}}$	$\Phi'_{Fe_{расч.}}$	$\ln a_{Fe}^L / a_{Fe}^S$	$a_{Fe}^L / a_{Fe}^S$	$x_{Fe_{он.}}^L$	$x_{Fe_{расч.}}^L$	$x_{Fe_{он.}}^S$	$x_{Fe_{расч.}}^S$
0	0,1679	0	0,1677	0	1	1	1,0000	1	1,0000
0,177	0,1735	0,1836	0,1769	-0,0216	0,9786	0,88	0,8830	0,99	0,9977
0,1991	0,1811	0,2826	0,1892	-0,0515	0,9498	0,75	0,7525	0,9	0,9880
0,2025	0,1890	0,2862	0,2019	-0,0832	0,9202	0,643	0,6438	0,86	0,9722
0,2152	0,1970	0,2836	0,2149	-0,1169	0,8897	0,553	0,5524	0,835	0,9517
0,2092	0,2053	0,2904	0,2283	-0,1526	0,8584	0,48	0,4755	0,812	0,9277
0,2205	0,2137	0,2975	0,2420	-0,1908	0,8263	0,416	0,4095	0,79	0,9008
0,214	0,2224	0,2941	0,2562	-0,2315	0,7933	0,355	0,3532	0,78	0,8719
0,2173	0,2313	0,2973	0,2706	-0,2751	0,7595	0,306	0,3045	0,772	0,8414
0,2158	0,2405	0,3063	0,2855	-0,3218	0,7248	0,264	0,2624	0,755	0,8099
0,2298	0,2499	0,3133	0,3007	-0,3721	0,6893	0,225	0,2255	0,738	0,7775
0,2271	0,2595	0,3265	0,3163	-0,4264	0,6529	0,194	0,1933	0,716	0,7444
0,2512	0,2693	0,337	0,3322	-0,485	0,6157	0,166	0,1651	0,7	0,7110
0,2537	0,2793	0,3478	0,3484	-0,5487	0,5777	0,14	0,1402	0,678	0,6772
0,2684	0,2895	0,3606	0,3650	-0,6181	0,539	0,118	0,1182	0,655	0,6430

**Выводы**

Для бинарных систем с участием железа общей 7 компонентной системы Fe-Si-Al-Ca-Mg-Zn-Pb установлено, что Fe в жидком состоянии не взаимодействует с кальцием, свинцом и магнием. С цинком железо не образует химических соединений и в жидком состоянии осмотический коэффициент Бьеррума-Гуггенгейма имеет положительные отклонения от идеальности ( $\Phi''_{Fe} < 1$ ), что свидетельствует о плохой смешиваемости в жидком состоянии.

Пять систем Ca-Pb, Ca-Al, Ca-Zn, Ca-Sl, Ca-Mg характеризуются образованием конгруэнтных соединений. Поведение осмотического коэффициента Бьеррума-Гуггенгейма для систем с кальцием показывает, что практически для всех систем характерно положительное отклонение от идеальности, т.е. происходит взаимодействие

между одноименными атомами. Для конгруэнтных соединений характерна высокая степень диссоциации.

Анализ поведения осмотического коэффициента Бьеррума-Гуггенгейма для бинарных магниевых систем показал, что термодинамическое взаимодействие между компонентами очень слабое, в расплаве присутствуют только ван-дер-ваальсовские силы взаимодействия между компонентами. Зависимость осмотического коэффициента Бьеррума-Гуггенгейма имеет строго корреляционную связь. Единственное отклонение в поведении компонентов показали результаты системы Al-Mg, требующие проведения экспериментов в области кристаллизации алюминия.

Жидкие растворы кремния с цинком и свинцом сопровождается эндотермическим эффектом и характеризуются положительным отклонением от закона Рауля. Взаимодействие алюминия и свинца бинарной системы Al-Pb характеризуется широкой областью не смешиваемости в жидком состоянии и отсутствием соединений между Al и Pb.

### Источники

- 1 Глазов В. М., Павлова Л. М. Химическая термодинамика и фазовые равновесия. – М: Металлургия, 1981. – 336 с.
- 2 Байсанов С., Толоконникова В., Нарикбаева Г.Т., Корсукова И.Я. Методы исследования линий гетерогенных фазовых равновесий на диаграмме состояния через осмотический коэффициент Бьеррума-Гуггенгейма. Монография - Караганда: «Экожан» 2020. – 74с.
- 3 Tolokonnikova V.V., Baisanov S., Narikbayeva G., Korsukova I., Mukhambetgaliyev Y. / Modeling Method of phase equilibrium in metal-slag system (2021) Metalurgija, 60(3-4), pp. 292-294.
- 4 Банных О. А., Будберг П.Б., Алисова С. П. и др. Диаграммы состояния двойных и многокомпонентных систем на основе железа. М: Металлургия, 1986. – 440 с.
- 5 Robie R.A., Hewingway B.S., Fisher J.K. Thermodynamic Properties of Minerals and Related Substances at 298,15 and (105 Paskals) Pressure and Higher Temperatures. – Washington, 1978. – P.456.
- 6 Крестовников А.Н., Владимиров Л.П., Гуляницкий В.С., Фишер А.Я. Справочник по расчетам равновесий металлургических реакций. – Москва: ГНТИ Литература по черной и цветной металлургии, 1968. – 416 с.
- 7 Рузинов Л.П., Гуляницкий В.С. Равновесные превращения металлургических реакций. – Москва: Металлургия, 1975. – 417 с.

УДК 66.097

## ВЛИЯНИЕ БИНАРНОГО КАТАЛИЗАТОРА (СОFE) НА КИНЕТИКУ ТЕРМИЧЕСКОЙ ДЕСТРУКЦИИ НЕФТЕШЛАМА (АТАСУ-АЛАШАНЬКОУ)

Тянах С., Малин Г., Бүтінші А.Б.

*Карагандинский Национальный Исследовательский университет имени Е.А. Букетова,  
г. Караганда, Казахстан*

Изучена кинетика термического разложения нефтешлам (Атасу-Алашанькоу) в присутствии бинарного катализатора, нанесенного на микросиликат методом термогравиметрии. Для определения кинетических параметров термического разложения нефтешлама в присутствии бинарного катализатора был использован интегральный метод Озава-Флинн-Уолла.

**Ключевые слова:** нефтешлам, термогравиметрический анализ, энергия активация, микросиликат, никель.

В настоящее время для изучения кинетики термического разложения органических материалов, таких как нефтешлам, широко используется термогравиметрический анализ [1-3]. Из-за сложного состава нефтешлама очень важно получить сведения о кинетических параметрах термического разложения нефтешлама в присутствии бинарного катализатора, содержащих оксиды металлов VIII группы периодической системы Д.И.Менделеева. Для определения кинетических параметров термического разложения нефтешлам (Атасу-Алашанькоу) в присутствии бинарного катализатора, содержащих оксиды металлов CoFe, был использован безмодельный метод расчета кинетических параметров Озава-Флинн-Уолла [4, 5] который требует построения кинетических кривых при разных скоростях нагрева.

Органическая масса нефтешлам (Атасу-Алашанькоу) содержит различные ароматические, гетероциклические соединения. Из за сложного состава нефтешлама трудно подобрать эффективный и селективный катализатор для переработки нефтешлама (Атасу-Алашанькоу) основывается на кинетике разложения органической массы нефтешлама можно подобрать катализатор. При изучении кинетики пиролиза органических веществ широко используется термогравиметрический метод анализа (ТГА) [3].

**Цель работы** – исследование кинетики термической деструкции нефтешлама в присутствии бинарного катализатора с нанесенными на микросиликат оксидами металлов CoFe с применением методов термогравиметрического анализа.

Для исследования термокинетического разложения нефтешлама (Атасу-Алашанькоу) было использовано сырье, полученное в процессе транспортировки нефти по трубопроводу, предприятию «Казстрансойл» Западно-Казахстанских нефтей Республики Казахстан. Используемый микросиликат выполняет роль носителя и катализатора – продукт Карагандинского кремниевого завода ТОО «Tau-Ken.temir».

Исходный микросиликат предварительно измельчали, затем с помощью ситового анализа отбирали пробы с размером частиц 0.1 мм. Выщелачивание исходного микросиликата проводили с использованием 20%-ного раствора соляной кислоты с целью удаления щелочных и щелочноземельных металлов.

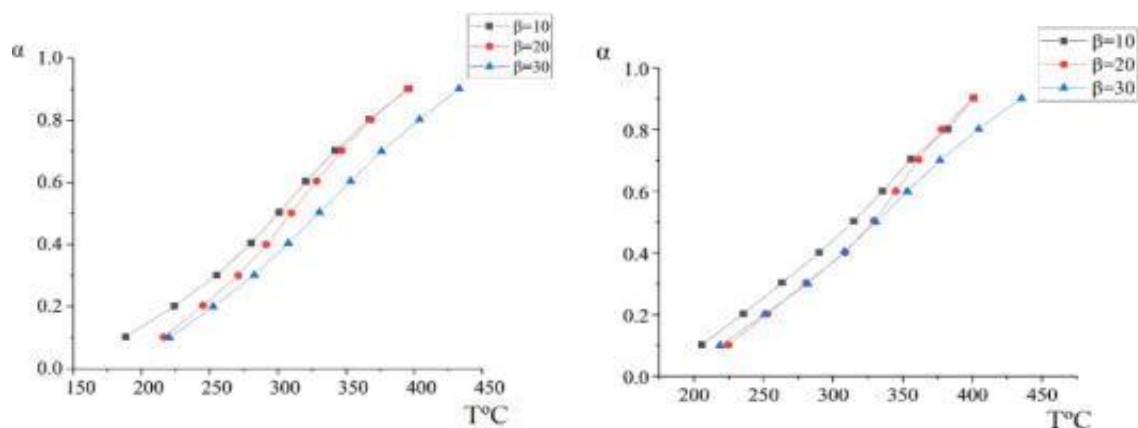
Катализатор получали методом мокрой пропитки. Выщелоченный микросиликат пропитывали 1%-ным раствором соли  $\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  и 1%-ным раствором соли  $\text{Fe}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ . Пропитанный растворами солей микросиликат (20 г.) выдерживали в сушильном шкафу в течение 2 ч, при температуре 80-90, а затем высушивали при

температуре 105°C также в течение 2 ч. Далее полученные образцы катализаторов прокаливали в муфельной печи при температуре 650°C в течение 2 ч (нанесенный катализатор).

Термогравиметрическое исследование проводили с помощью дериватографа Labsys Evo TG-DTA/DSC 1600 (фирмы Setaram, Франция) в корундовых тиглях в интервале температур от 30 до 600°C в потоке азота (скорость потока защитного и продувочного газов составляла 30 мл/мин<sup>-1</sup> соответственно). Кинетические характеристики определяли на основе ТГ – данных при трех разных скоростях нагрева 10, 20 и 30 град мин<sup>-1</sup>. Во избежание обработки результатов измерений выполнена с помощью пакета программ «OriginLab».

Интегральные методы (Озава-Флинн-Уолла) используют максимум информации из термических кривых и дают зависимость энергии активации от степени превращения. В способе Озава-Флинн-Уолла для анализа берется набор точек с одинаковой степенью превращения  $x$  (отношением заданной площади пика к полной), и на графике Аррениуса получается серия из нескольких прямых, характеризующихся каждая своей энергией активации [6].

Используя интегральный метод, с помощью уравнения кривые зависимости степени конверсии скорости термодеструкции смеси катализатора с нефтешламом от обратной температуры рассчитали энергию активацию (рисунок 1 а), б)).



**Рисунок 1 – Кривые зависимости степени конверсии для процесса удаления летучих при различных скоростях нагрева смеси бинарного катализатора (а) и (в) с нефтешламом (Атасу-Алашанькоу)**

Энергия активации для двух образцов катализатора они возрастает с увеличением конверсии (рисунок 1). Для образца нефтешлама (Атасу-Алашанькоу) при трех разных скоростях нагрева 10, 20 и 30 град мин<sup>-1</sup>  $E_a$  находились в диапазоне от 67-99 кДж/моль, образец никель  $E_a$  от 80-93 кДж/моль.

Таким образом, полученные кинетические параметры могут использоваться при моделировании процесса термодеструкции нефтешлама (Атасу-Алашанькоу) присутствии нанесенных катализаторов, которые могут изменять органо минеральную часть нефтешлама (Атасу-Алашанькоу).

## Источники

- 1 Букварева О.Ф., Бухаркина Т.В. // Кинетика и термохимия процессов термодеструкции углеродсодержащих веществ. М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2001. – 28 с.
- 2 Гюльмалиев А.М., Головин Г.С., Гладун Т.Г. Теоретические основы химии угля. М.: Изд-во МГТУ, 2003. – 556 с.

- 3 Фетисова О.Ю., Кузнецов П.Н., Пуревсурен Б., Авид Б. // ХТТ. – 2021. №1. – С. 3.  
DOI: 10.31857/S0023117721010035 [Solid Fuel Chemistry, 2021. – Vol. 55, No. 1. – P. 1.  
DOI: 10.3103/S0361521921010031]
- 4 Flynn J., Wall L. // J. Polym. Sci. Part B: Polym. Phys. 1966. – V. 4. – P. 296.
- 5 Ozawa T. // Bull. Chem. Soc. Jpn. 1965. – V. 38. – P. 1881.
- 6 Д.В. Киселева, Н.О. Садыкова Кинетический анализ термогравиметрических данных ископаемых костных остатков. ЕЖЕГОДНИК-2009, Тр. ИГГ УрО РАН, вып. 157, 2010. – С. 336-339.

УДК 628.312.3:661.183

## ПОЛУЧЕНИЕ СОРБЕНТОВ ИЗ ЗОЛОШЛАКОВЫХ ОТХОДОВ ТЭЦ

Шварук А.В.<sup>1,2</sup>, Осипов П.А.<sup>1</sup>, Шаяхметова Р.А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> РГП «НЦ КИМС РК», г. Алматы, Казахстан,

<sup>2</sup> ТОО «ЛЮКС КАРБОН», г. Алматы, Казахстан

Золошлаковые отходы (ЗШО) угольных ТЭЦ относятся к наиболее массовым видам техногенных минеральных отходов. В структуре промышленных отходов в ряде стран их доля достигает 30-40 %. ЗШО – это сложная многокомпонентная смесь, состав которой сильно варьируется в зависимости от месторождения угля, технологии сжигания и способа отбора (летучая зола или донный шлак). Они содержат остеклованную алюмосиликатную фазу ( $SiO_2 - Al_2O_3 - CaO - Fe_2O_3$ ), остаточный углерод, оксиды кальция, магния, железа и примеси тяжёлых металлов [1, 2]. Такой минерально-углеродный каркас делает золошлаки перспективным сырьём для получения сорбентов. Ниже приведен усредненный химический состав ЗШО для большинства угольных ТЭЦ с минимальным (а) и максимальным(б) содержанием примесных элементов.

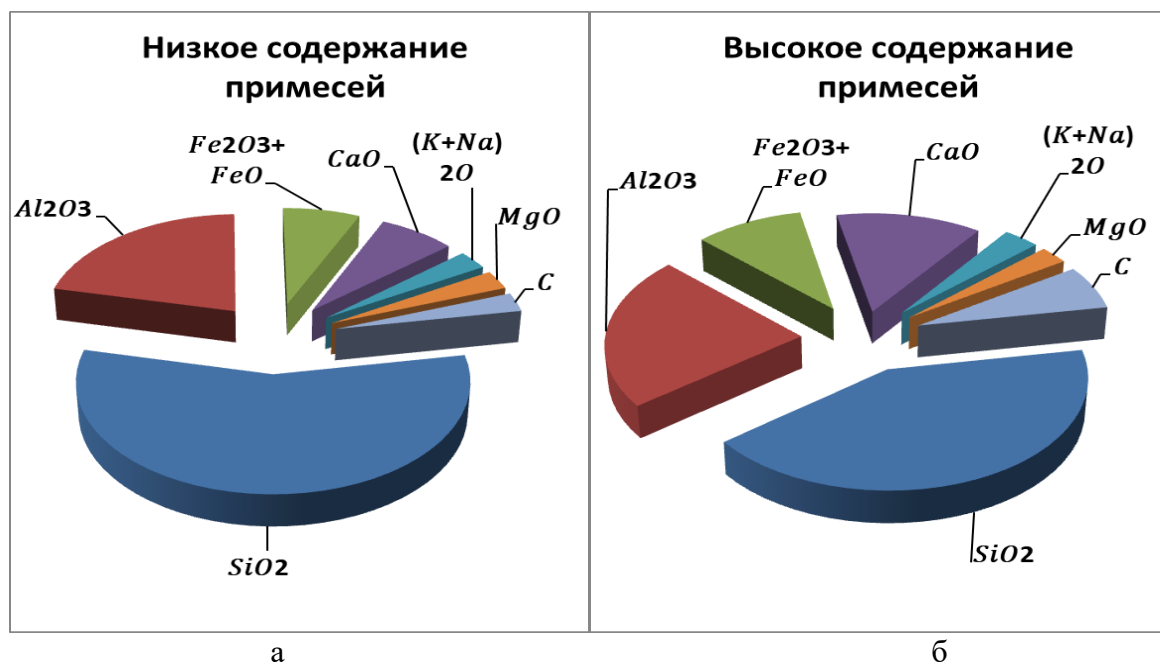


Рисунок 1 – Усредненный химический состав ЗШО для большинства угольных ТЭЦ с минимальным (а) и максимальным (б) содержанием примесных элементов

Как следует из рисунка, различия между минимальным и максимальным содержанием примесных элементов в золошлаковых отходах различных ТЭЦ весьма незначительны, что делает задачу переработки их в сорбционные материалы весьма актуальной. Также развитие технологий переработки ЗШО в сорбционные материалы одновременно решает несколько ключевых задач; снижение нагрузки на золоотвалы и уменьшение площади занимаемых полигонов; выпуск «зелёных» материалов для очистки воды, воздуха и промышленных стоков; формирование новой сырьевой базы для химико-металлургических производств и экологических технологий.

По природе ЗШО делятся на две крупные группы; минеральные алюмосиликатные сорбенты из модифицированных, щелочно-активированных зол ТЭЦ; и углеродсодержащие сорбенты – золоуглеродные материалы, обогащённые по

остаточному углероду, а также карбонизованные и пароактивированные золошлаки. По целевому назначению сорбенты ориентируются на извлечение тяжёлых металлов, ионов аммония и фосфатов, адсорбцию органических веществ и нефтепродуктов, а также очистку дымовых газов от кислотных компонент и ртути.

Основные методы получения сорбентов из золошлаковых отходов состоят из: механической активации – тонкий помол ЗШО, повышение реакционной способности и удельной поверхности, которая используется как предварительный этап перед химической или термической модификацией; щелочной, кислотной или солевой активации, состоящей в обработке их растворами щелочей, кислот или солей для удаления растворимых примесей; вскрытия алюмосиликатной фазы и увеличения площади поверхности; термо- и пароактивации в интервале 400–900 °С (иногда с подачей пара), дегидроксилирование и развития пористой структуры, а также комбинированные схемы для формирования сорбентов под конкретные задачи.

Сорбционная ёмкость модифицированных золошлаковых сорбентов способна достигать порядка 20-80 мг/г по ионам  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$  и до 50–150 мг/г по  $\text{Pb}^{2+}$  и  $\text{Cr(VI)}$  в оптимальных условиях рН и ионной силы раствора [3-5]. Основными механизмами сорбции являются ионный обмен, комплексообразование и осаждение на гидроксидных и оксихлоридных фазах. Углеродсодержащие золосорбенты демонстрируют высокую адсорбцию органических загрязнителей – красителей, фенолов, ПАВ, а также нефтепродуктов, особенно при дополнительной паро- и термоактивации. В газоочистке золошлаковые сорбенты применяют для улавливания и нейтрализации  $\text{SO}_2$ ,  $\text{HCl}$ ,  $\text{HF}$ ,  $\text{Hg}$  и других токсичных компонентов в системах сухой и полусухой очистки дымовых газов. Перспективными направлениями развития сорбентов из ЗШО являются: создание комплексных технологий, в которых из золы сначала извлекаются ценные металлы, а затем на оставшейся матрице формируются сорбенты; совмещающих сорбцию металлов, органики и компонентов газовой фазы.

Таким образом, ключевым преимуществом получения сорбентов из ЗШО заключаются в использовании дешёвого техногенного сырья, снижении объёмов отходов ТЭЦ, возможности локальной организации производства рядом с крупными энергетическими и горно-металлургическими узлами, а также в интеграции таких материалов в концепции «зелёной» экономики и циркулярного использования ресурсов. Также перспективным направлением является использование таких материалов в рекультивации техногенно-загрязнённых территорий – в составе сорбционных барьеров, активных экранов под полигонами и в смеси с грунтами для фиксации подвижных форм тяжёлых металлов.

## Источники

- 1 Умбетова Ш. М. Предприятия энергетики и пути их вторичной переработки //Вест. КазНТУ. – 2009. – №. 4. – С. 72-75.
- 2 Власова В. В., Артемова О. С., Фомина Е. Ю. Определение направлений эффективного использования отходов //Экология и промышленность России. – 2017. – Т. 21. – №. 11. – С. 36-41.
- 3 Pehlivan E., Cetin S. Application of fly ash and activated carbon in the removal of  $\text{Cu}^{2+}$  and  $\text{Ni}^{2+}$  ions from aqueous solutions //Energy Sources, Part A. – 2008. – Т. 30. – №. 13. – С. 1153-1165.
- 4 Kong M. et al. Removal of  $\text{Cu}^{2+}$  and  $\text{Ni}^{2+}$  from wastewater by using modified alkali-leaching residual wire sludge as low-cost adsorbent //Water, Air, & Soil Pollution. – 2019. – Т. 230. – №. 3. – С. 65.
- 5 Yin Z. et al. An effective way to utilize solid waste resources: The application of modified fly ash in removing  $\text{Cu}^{2+}$  and  $\text{Pb}^{2+}$  in wastewater //Separation and Purification Technology. – 2024. – Т. 350. – С. 127948.

УДК 669.334

## ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ НА МАКСИМАЛЬНОЕ НАСЫЩЕНИЕ ОРГАНИЧЕСКОЙ ФАЗЫ И ПОКАЗАТЕЛЯ ОТСТАИВАНИЯ В ПРОЦЕССАХ L-SX-EW

Якушев Н.Е.

*Филиал РГП «НЦ КПМС РК» «ВНИИцветмет»*

**Введение.** Глобальный рост спроса на медь высокой степени чистоты в сочетании с истощением богатых месторождений и ужесточением экологических норм диктует необходимость внедрения высокоэффективных технологий переработки труднообогатимого сырья. В этом контексте развитие гидрометаллургических методов становится приоритетным направлением для мировой горнодобывающей отрасли [1, 7].

Для освоения руд с преобладанием окисленных минералов стандартом промышленной практики стала технология кучного выщелачивания. Данный метод позволяет переводить медь в продуктивные растворы с их последующей переработкой по технологической цепочке L-SX-EW (выщелачивание – жидкостная экстракция – электролиз). В настоящее время технологию кучного выщелачивания меди широко применяют во многих странах мира. Экстракционное извлечение меди из продуктивных растворов выщелачивания представляет собой сложный физико-химический процесс, зависящий от совокупности параметров: рН водной фазы, концентрации меди и сопутствующих примесей, соотношения фаз, природы и концентрации экстрагента, гидродинамических условий, а также температуры системы [2].

Сернокислое выщелачивание остается одним из наиболее доступных способов извлечения меди из окисленных руд. Однако реализация этого метода в условиях Казахстана сопряжена с климатическими вызовами: суровые зимы в ряде регионов могут существенно корректировать протекание химических реакций. В этой связи изучение зависимости эффективности экстракции и реэкстракции от температурных условий приобретает особую практическую значимость.

### **Влияние температуры на экстракционное извлечение меди**

Воздействие температуры на экстракционный процесс в системах L-SX-EW целесообразно рассматривать с двух взаимосвязанных позиций: химической, определяющей эффективность и скорость извлечения меди, и физической, связанной с процессами разделения фаз на стадии отстаивания.

Экстракция меди представляет собой химическое взаимодействие между ионами меди и молекулами экстрагента, скорость данного процесса в значительной степени определяется физическими факторами. При стандартных условиях (20-25 °С) реакция комплексообразования между медью и оксимным экстрагентом протекает практически мгновенно. Однако при понижении температуры наблюдается снижение экстракционного процесса, а также увеличение скорости расслоения фаз [3, 4].

### **Проведение экспериментов по максимальному насыщению органики и отстаиванию при разных температурах**

С целью изучения влияния температуры на показатели экстракции и реэкстракции меди из растворов кучного выщелачивания исследования проводили при температурах 10, 15 и 20 °С (таблица 1). В работе использовали продуктивный раствор выщелачивания окисленной медной руды месторождения Казахстана (PLS) с

содержанием меди 2,3 г/дм<sup>3</sup>, железа 25,0 г/дм<sup>3</sup> и pH 1,21, а также синтетические медьсодержащие растворы с концентрацией меди 2,3 и 10 г/дм<sup>3</sup> при pH 4,00.

В качестве экстрагентов применяли 8%-ные (об.) растворы LIX (BASF) и Acorga (SYENSQO) в разбавителе Elixore 205. Для стадии реэкстракции использовали стандартный медный электролит с содержанием меди 35,0 г/дм<sup>3</sup> и серной кислоты 180 г/дм<sup>3</sup>.

Определение максимальной ёмкости насыщения органической фазы медью проводили в лабораторных делительных воронках объёмом 100 см<sup>3</sup>. Органическую фазу (25 см<sup>3</sup>) контактировали с 50 см<sup>3</sup> медьсодержащего раствора в течение 1 минуты. Процедуру экстракции повторяли четыре раза с использованием свежих порций водной фазы. После завершения контактов органическую фазу отделяли, фильтровали и направляли на химический анализ.

**Таблица 1 – Результаты экспериментов по определению емкости насыщения экстрагентов**

Температура, °С	Содержание меди в органической фазе, г/дм <sup>3</sup>	
	LIX	Acorga
Синтетический раствор: 10 г/дм <sup>3</sup> меди, pH = 4,00		
10	3,06	4,36
15	4,27	4,39
20	4,25	4,77
Продуктивный раствор выщелачивания (PLS): 2,3 г/дм <sup>3</sup> меди, pH=1,21		
10	1,80	3,59
15	3,64	3,59
20	3,93	3,66

Из данных, приведенных в таблице видно, что в рассматриваемом диапазоне температур как в случае экстракции меди из синтетического медного раствора, так и из продуктивного раствора выщелачивания, повышение температуры с 10 до 20 приводит к ожидаемому увеличению загрузки органической фазы медью.

Исследования по отстаиванию фаз при экстракции и реэкстракции меди проводились в стеклянных сосудах объёмом 1 дм<sup>3</sup> с перегородками. Экстракционные тесты выполняли при соотношении органической и водной фаз 1:1 (по 400 см<sup>3</sup>) с использованием механического перемешивания при скорости 1750 ± 25 об/мин. Контакт фаз осуществляли в течение 300 с, после чего перемешивание прекращали и фиксировали время полного разделения фаз, которое считалось достигнутым при формировании устойчивой межфазной границы. Испытания проводили с синтетическим раствором и продуктивным раствором кучного выщелачивания при содержании меди 2,3 г/дм<sup>3</sup>, с использованием экстрагентов марок LIX и Acorga. Результаты исследований по отстаиванию фаз представлены в таблице 2.

При повышении температуры с 10 до 20 °С для всех исследованных систем наблюдается устойчивое сокращение времени как частичного, так и полного разделения фаз. В случае PLS время отстаивания во всех температурных режимах значительно выше по сравнению с синтетическими растворами, что указывает на влияние растворённых примесей, мелкодисперсных твёрдых частиц и поверхностно-активных компонентов, стабилизирующих эмульсию.

**Таблица 2 – Результаты тестов по отстаиванию при различных температурах**

Объем осветленного слоя, см <sup>3</sup>	Время, с			
	Синтетический раствор		PLS	
	LIХ	Acorga	LIХ	Acorga
Температура 10 °С				
100	14	30	50	45
200	28	45	66	63
300	42	50	81	78
Полное разделение фаз	56	60	102	102
Температура 15 °С				
100	13	19	40	38
200	26	31	62	58
300	40	40	77	76
Полное разделение фаз	55	49	93	93
Температура 20 °С				
100	9	8	30	28
200	19	17	57	55
300	28	29	74	74
Полное разделение фаз	38	38	86	86

**Выводы**

В ходе исследований установлено, что температура оказывает существенное влияние как на эффективность экстракции меди, так и на кинетику разделения фаз в процессах SX–EW. Повышение температуры с 10 до 20 °С приводит к росту содержания меди в органической фазе для обоих экстрагентов, что связано с улучшением диффузионных условий и снижением кинетических ограничений экстракции. При этом для продуктивных растворов кучного выщелачивания степень насыщения органической фазы ниже, чем для синтетических растворов, что обусловлено высоким содержанием железа и сопутствующих примесей [5, 6].

Показано, что стадия отстаивания является наиболее чувствительной к температурным условиям. При пониженных температурах существенно возрастает время разделения фаз, особенно при работе с PLS, что связано с повышенной вязкостью органической фазы и стабилизацией эмульсий примесями.

Для промышленной практики разработаны и внедрены специальные технические решения, позволяющие компенсировать ухудшение отстаивания фаз и поддерживать стабильную работу SX-EW контуров [3, 8]. Такими решениями можно отметить:

- Подогрев растворов PLS теплообменниками.
- Вывод растворов при высоком содержании растворимых веществ.
- Использование цеховых центрифуг для переработки межфазной взвеси позволяет снижать потери органической фазы и очищать её от твёрдых частиц.

**Источники**

- 1 Технология производства меди. Процесс SX–EW // Mining Magazine. – 1994. – Т. 170, № 5. – С. 256–265.
- 2 Kordosky G., Virnig M., Boley B. Equilibrium copper strip points as a function of temperature and other operating parameters: implications for commercial copper solvent extraction plants // Tsinghua Science and Technology. – 2006. – Vol. 11, No. 2. – P. 165–173.
- 3 Ритчи Г. М. Экстракция: принципы и применение в металлургии: пер. с англ. / Г. М.

- Ритчи; под ред. Б. Н. Ласкорина. – М.: Металлургия, 1983. – 407 с.
- 4 Szymanowski J. Hydroxoximes and Copper Hydrometallurgy. – New York : Routledge, 1993. – 448 p. – DOI: 10.1201/9780203751336.
  - 5 Solvent Extraction Plants: Thiele Diagram & Theoretical Design Aspects [Электронный ресурс]. – 911Metallurgist, 2017. – Режим доступа: <https://www.911metallurgist.com>.
  - 6 Тарасов В. В., Ягодин Г. А. Кинетика экстракции. – М. : Наука, 1974. – 157 с.
  - 7 Крейн Ф. Экстракция в гидрометаллургии меди: развитие и современное состояние // Комплексное использование минерального сырья. – 2004. – № 2. – С. 36-55.
  - 8 Extractive Metallurgy of Copper/Mark E. Schlesinger, Matthew J. King, Kathryn C. Sole, William G. Davenport. – Elsevier, 2011. – 481 с.

## **Секция 3**

**Инновации в горном деле,  
цифровизация  
и искусственный интеллект  
в ГМК**

UDC 677.027

## DEVELOPMENT OF ENVIRONMENTALLY SAFE AND HYPOALLERGENIC DYEING TECHNOLOGY FOR TEXTILE MATERIALS USING DIGITAL OPTIMIZATION METHODS

Karzhaubay A.A., Dyussenbiyeva K. Zh.

*Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan*

Synthetic dyes are widely used in the modern textile industry, but they can harm the environment and human health by causing allergic reactions and skin irritation. Therefore, there is growing interest in safe and environmentally friendly technologies for coloring textile materials. The purpose of the study is to develop a hypoallergenic method of staining cotton and flax using food dyes and natural tannin, as well as assessing its effectiveness. Tannin promotes better fixation of color on fiber, and food dyes are safe for humans and reduce the risk of allergies [1, 2].

To optimize the technological parameters of staining, elements of artificial intelligence and digital technologies are used in the work, allowing to simulate the effect of the concentration of dye and tannin, temperature, pH of the medium and the duration of the process on color characteristics and color durability. The use of digital analysis of experimental data provides a rational selection of coloring modes, reducing the number of chemical reagents and increasing the reproducibility of results, which together contributes to the creation of a safe, hypoallergenic and environmentally oriented dyeing technology [1].

For the experiment, fabrics made of natural fibers - cotton and flax - were pre-cleaned and washed. After that, the materials were treated in a tannin solution for a certain time, which ensured improved fixation of the dye on the fiber. In the next step, the tissues were stained in solution with food dyes at a controlled temperature. Upon completion of staining, the materials were washed and dried naturally [3, 4].

Dyeing textile materials in solutions of food dyes at controlled temperature ensured uniform dye distribution and stability of color characteristics. Digital temperature control allowed to optimize the conditions of interaction of the dye with cellulose fiber, reduce the risk of thermal destruction and increase the reproducibility of the results. The use of intelligent analysis of experimental data contributes to the rational choice of coloring parameters and increases the efficiency of hypoallergenic dyeing technology. The results confirm the promise of using digitally managed processes in the development of safe textile technologies [5].

The use of food dyes in conjunction with tannin washing ensured uniform and stable staining of cotton and flax. The resulting colors were preserved after washing, and the structure and softness of the fabrics were not disturbed. The most important result is the confirmation of hypoallergenicity and environmental safety of the developed technology [6, 7].

The use of food dyes and tannin weed allows you to create a safe and hypoallergenic technology for staining cotton and flax for children's and medical textile products, is environmentally safe and supports clean production.

### References

- 1 Rehman A. et al. Chemical-Free Dyeing of Cotton with Functional Natural Dye: A Pollution-Free and Cleaner Production Approach – *Frontiers in Environmental Science*. 2022.
- 2 Yarali Kinli M. et al. Environmentally Friendly Textile Printing Methods: Examining Natural Dyes as Alternatives – *European Journal of Research and Development*. 2025.
- 3 Turgut H. I. et al. Wash Fastness Properties of Pre-Mordanting Cotton Fabrics Dyed with Natural Dyes – *J. Innovative Engineering and Natural Sciences*. 2024.

- 4 Atav R., Soysal S. & Haji A. Environmentally Friendly Coloration of Polyamide Fabrics with the Use of Natural Dyes – Fibers and Polymers. 2024.
- 5 Sun W. et al. Research on the Application of Biological Mordant Dyeing with Natural Dyes – Advances in Engineering Innovation. 2024.
- 6 Гришина, М. В. «Технология окрашивания текстильных материалов натуральными красителями». -Москва: Легпром, 2018. – 152 с.
- 7 Иванова, Н. А., Петров, С. В. «Экологически безопасные методы окрашивания хлопка и льна». -Санкт-Петербург: Химтекстиль, 2020. – 120 с.

UDC 622.272

**GEOMECHANICAL-GEOCHEMICAL FACTORS OF HYDROGEN OCCURRENCE  
AT DONSKOY GOK AND RESEARCH TASKS****Sadyk Zh., Matayev A.***Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan*

Modern mining and metallurgical enterprises in Kazakhstan are faced with the need to develop deeper and deeper horizons, where complex geochemical processes, including the release of hydrogen, are beginning to manifest themselves along with high stresses of the massif. This problem is becoming particularly relevant for the Donskoy GOK of TNK «Kazchrome JSC», where cases of gas emissions in underground workings have been recorded in recent years. These phenomena indicate the existence of poorly understood patterns of interaction between geomechanical and geochemical factors affecting the formation of hydrogen anomalies in the rocks of chromite deposits.

The present study is aimed at establishing causal relationships between the stress-strain state of the mountain range, the mineral composition of rocks and the intensity of hydrogen genesis. The work provides for the development of scientific foundations for predicting zones of possible hydrogen manifestations and improving methods for monitoring the gas environment in mines. The results of the study will create a theoretical basis for improving industrial safety, optimizing mining solutions and reducing risks during the operation of deep underground mines.

The study of the nature and mechanisms of hydrogen formation in the Earth's crust has become one of the priorities of geochemical and geophysical research in recent decades. According to [1] and [2], the main source of natural (so-called «white») hydrogen is the serpentinization process of ultrabasic rocks, in which Fe<sup>2+</sup>-containing minerals (olivines, pyroxenes) interact with water, leading to the reduction of hydrogen. Additional mechanisms of hydrogen generation are considered to be radiolysis of water, degassing of fluids from the mantle, and redox reactions during tectonic fractures [3].

The research results [4] show that the amount of H<sub>2</sub> released depends on the rock composition, iron content, temperature and pressure. The maximum generation values are observed during serpentinization of iron-rich olivines and in the presence of active water exchange in fractured zones. At the same time, the researchers [5] note that hydrogen degassing is accompanied by a change in the physical properties of rocks - an increase in fracturing and secondary porosity, which contributes to further gas migration.

Recent studies have emphasized the close relationship between geomechanical and geochemical factors in the formation of hydrogen anomalies [6, 7]. Geodynamic processes such as stress relief and microcracking enhance fluid flow and activate chemical serpentinization reactions. This is especially evident in deep ore arrays, where rock pressure and temperature gradients create conditions for intensive hydrogen generation.

Special attention is paid to industrial safety issues in underground mining operations. According to the review [5] and reports of the Industrial Safety Committee of the Republic of Kazakhstan [8], hydrogen poses a serious danger due to its low ignition concentration limit (4%) and its ability to diffuse through microcracks. Practical studies conducted at the Bolashak mine of the Donskoy GOK [9] have confirmed that spontaneous release and accumulation of hydrogen can be associated with both geochemical reactions in rocks and local discharge of the massif. These observations emphasize the need to develop comprehensive methods of geomechanical and gas-geochemical monitoring.

An analysis of the literature data indicates the need for a systematic approach combining geomechanics and geochemistry in the study of hydrogen manifestations. Scientific

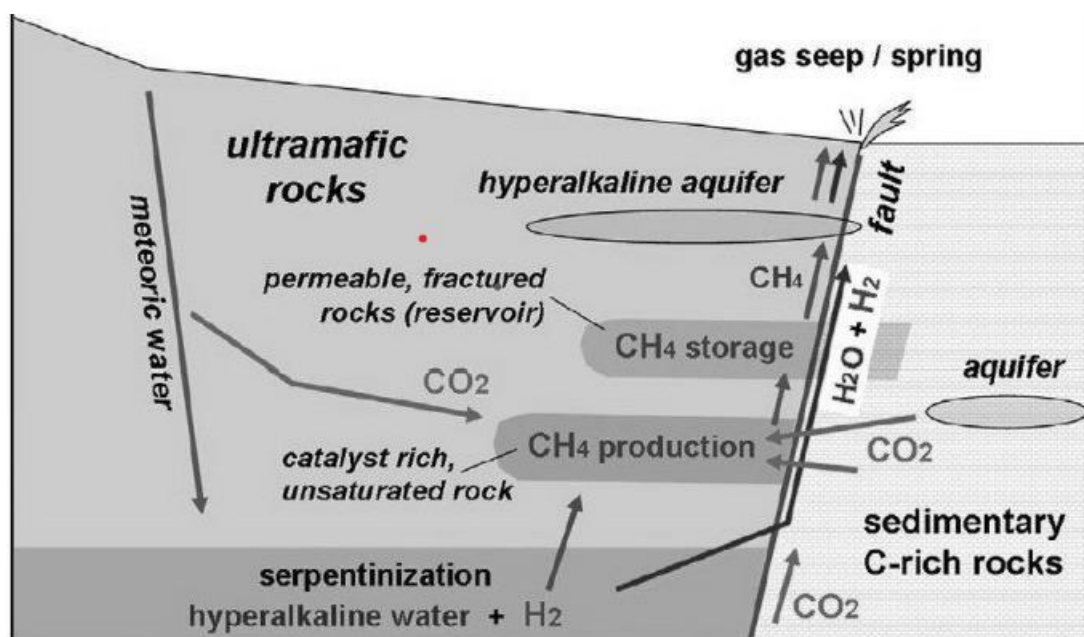
understanding of these processes in the specific conditions of the Donskoy Mining and Field will make it possible to clarify the mechanisms of hydrogen formation and migration and develop practical recommendations for improving mining safety.

The study of the relationship between geomechanical and geochemical factors in the processes of hydrogen generation and migration is a scientifically important and practically significant task. The lack of reliable methods for forecasting and monitoring areas of possible hydrogen manifestations poses risks to the safety of mining operations, equipment and personnel.

The relevance of the work is determined by:

- the need to increase the level of industrial and environmental safety of mining operations;
- lack of system data on the patterns of formation of hydrogen anomalies in the conditions of the Donskoy Mining and Processing Complex;
- the need to develop scientifically sound methods for predicting and controlling hydrogen manifestations; the importance of an integrated approach combining geomechanical and geochemical analysis.

The main idea of the work is that the manifestations of hydrogen in the subsurface are associated with the combined effects of geomechanical stresses and geochemical reactions occurring in rocks containing minerals of iron, chromium and serpentinized ultramafic rocks.



**Figure 1 – Geological Model of Hydrogen Generation and Migration in Chromite-Bearing Ultramafic Rocks**

Figure 1 illustrates a geological model of hydrogen ( $H_2$ ) generation and migration within ultramafic rocks hosting chromite deposits. Ultramafic massifs containing chromite ores, primarily Fe-Cr spinels, undergo serpentinization when interacting with meteoric waters. During this process, the oxidation of iron-rich minerals leads to the formation of hyperalkaline fluids and molecular hydrogen ( $H_2$ ).

In deep chromite mines, rock exposure, fracture development, and the activity of tectonic faults enhance water-rock interactions and intensify serpentinization processes. As a result, hydrogen gas previously confined within a closed geological system can be released. The gas migrates upward through fractured and permeable rocks and may enter underground mine workings.

The diagram also shows abiogenic methane (CH<sub>4</sub>) generation at the interfaces between ultramafic rocks and carbon-rich sedimentary formations in the presence of CO<sub>2</sub>. This process may lead to secondary consumption of hydrogen; however, in deep chromite mining environments, the primary hazard remains the sudden release and accumulation of H<sub>2</sub>.

Thus, the proposed model demonstrates that hydrogen occurrence in chromite deposits is not directly related to chromium itself, but rather to the geochemical properties of ultramafic host rocks and serpentinization processes. This phenomenon is of particular importance for industrial safety in chromite mining operations.

Hydrogen is generated as a product of redox processes (for example, serpentinization, degassing, or dissociation of water), and geomechanical stresses and fracturing determine the ways it migrates and exits into the depleted space.

The hydrogen manifestation is considered as an integral indicator of the geodynamic and geochemical state of the rock mass.

It is planned to use a set of modern methods to solve the tasks set.:

- geological and structural analysis and geomechanical engineering modeling;
- mineralogical and petrochemical studies of rocks;
- gas-geochemical measurements of hydrogen concentrations and fluxes;
- methods of thermodynamic modeling of geochemical processes;
- statistical and correlation analysis of the relationship between geomechanical parameters and hydrogen content.

The results of the work can be used:

- when predicting and preventing gas manifestations in underground mining operations;
- in systems for monitoring the gas-geochemical state of ore bodies;
- to optimize the parameters of mining operations and increase the safety of personnel;
- in the development of recommendations on the rational use of mineral resources and control of man-made impacts.

In this paper, we have considered a topic related to the study and substantiation of the influence of geomechanical and geochemical factors on the manifestation of hydrogen in the conditions of the Donskoy GOK of TNK Kazchrome JSC. The analysis showed that the formation of hydrogen is determined by the combined effect of the stress-strain state of the massif, the structural features of the rocks and the geochemical reactions occurring in them.

We have established the main patterns of formation of hydrogen anomalies and emphasized the need for an integrated approach combining geomechanical and gas-geochemical research methods. Further research will allow us to study in more detail the influence of geomechanical and geochemical factors and develop ways to solve the identified problems.

## References

- 1 Holm, N. G., Oze, C., Mousis, O., Waite, J. H., & Guilbert-Lepoutre, A. (2015). Serpentinization and the formation of H<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub> on celestial bodies (planets, moons, comets). *Astrobiology*, 15(7), 587-600.
- 2 McCollom, T. M., Klein, F., Moskowitz, B., & Solheid, P. (2022). Experimental serpentinization of iron-rich olivine (hortonolite): Implications for hydrogen generation and secondary mineralization on Mars and icy moons. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 335, 98-110.
- 3 Moretti, I., & Webber, M. E. (2021). Natural hydrogen: a geological curiosity or the primary energy source for a low-carbon future. *Renewable Matter*, (34).
- 4 Rezaee, R. (2025). Quantifying Natural Hydrogen Generation Rates and Volumetric Potential in Onshore Serpentinization. *Geosciences*, 15(3), 112.
- 5 Calabrese, M., Portarapillo, M., Di Nardo, A., Venezia, V., Turco, M., Luciani, G., & Di Benedetto, A. (2024). Hydrogen safety challenges: a comprehensive review on production,

- storage, transport, utilization, and CFD-based consequence and risk assessment. *Energies*, 17(6), 1350.
- 6 Oze, C., & Sharma, M. (2005). Have olivine, will gas: serpentinization and the abiogenic production of methane on Mars. *Geophysical research letters*, 32(10).
  - 7 Wang, L., Jin, Z., Chen, X., Su, Y., & Huang, X. (2023). The origin and occurrence of natural hydrogen. *Energies*, 16(5), 2400.
  - 8 Industrial Safety Committee of the Ministry of Emergency Situations of the Republic of Kazakhstan. Investigation report on the causes of hydrogen release at the Bolashak mine. - Astana, 2025.
  - 9 Kazchrome. Official website. Available at: [<https://www.kazchrome.com>] (Accessed: 10 January 2026)

УДК 622.8:628.53

## ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ВЫДЕЛЕНИЯ ВЫХЛОПНЫХ ГАЗОВ САМОХОДНЫХ МАШИН С ДВИГАТЕЛЯМИ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ ПРИ РАБОТЕ В ШАХТЕ

Ананин И.А.<sup>1</sup>, Тунгушбаева З.К.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Восточно-Казахстанский технический университет им. Д.Серикбаева,  
г. Усть-Каменогорск, Казахстан*

<sup>2</sup>*Филиал РГП «НЦ КПМС РК» «ВНИИцветмет», г. Усть-Каменогорск, Казахстан*

Интенсификация добычи руды ведет к увеличению количества одновременно работающей под землей техники, что пропорционально увеличивает объем выделяемых вредных веществ и создает кумулятивный эффект. Существующие нормы подачи воздуха (например, м<sup>3</sup>/мин на 1 кВт мощности двигателя) часто носят усредненный характер и не учитывают реальный режим работы машины и ее техническое состояние. Исследование концентрации оксида углерода и диоксида азота в выхлопных газах и в воздухе рабочей зоны при работе самоходного дизельного оборудования на подземных рудниках позволит обеспечить безопасные условия труда для горняков, существенно снизить энергозатраты на вентиляцию и разработать современные, научно обоснованные методики расчета параметров проветривания.

Поставлена задача в шахтных условиях определить концентрации оксида углерода и диоксида азота в выхлопных газах и в воздухе рабочей зоны (в рудничной атмосфере) при работе самоходного дизельного оборудования для расчета необходимого объема подачи свежего воздуха для разжижения ядовитых газов после выхлопа ниже предельно допустимых концентраций.

Требования к составу рудничного воздуха и выхлопным газам изложены в «Правилах обеспечения промышленной безопасности для опасных производственных объектов, ведущих горные и геологоразведочные работы» [1]. Допустимая концентрация вредных компонентов в отработавших газах двигателей внутреннего сгорания в подземных условиях не должна превышать для окиси углерода и окислов азота 0,08%, а их содержание в атмосфере подземных выработок не должно превышать предельно допустимые концентрации: для окиси углерода - 0,0017% и окислов азота 0,00026%%.

Таким образом, необходимо для достижения ПДК выхлопные газы разжижать по окиси углерода в 47 раз, а по окислам азота в 307 раз. Норматив допустимой концентрации вредных компонентов в отработавших газах двигателей внутреннего сгорания был установлен в 1972 году. Тогда же был установлен норматив подачи объема воздуха для разжижения выхлопных газов из расчета не менее 5 кубических метров в минуту на 1 л.с. (hp) номинальной мощности дизельных двигателей. На период утверждения нормативов содержание в выхлопных газах оксидов азота допускался в пределах 15,8 г/кВт ч., а окислов углерода - 12,3 г/кВт ч

В настоящее время для большегрузных машин введены евростандарты для двигателей и дизельного топлива, в которых, например, для ЕВРО-3 допускается содержание в выхлопных газах оксида азота 5 г/кВт ч и окиси углерода 2,1 г/кВт ч, т.е. нормативы снижены по оксидам азота в 3,1 раза, окиси углерода в 5,8 раза, а норматив подачи свежего воздуха для разжижения выхлопных газов остался прежним.

Необходимый объем подачи свежего воздуха для разжижения до предельно-допустимой концентрации ядовитых газов, поступающих в рудничную атмосферу от машины с двигателем внутреннего сгорания, рассчитывается по формуле:

$$q = Q_{г} \times C_{г} / C_{пдк}, \text{ м}^3/\text{с на 1 кВт},$$

где  $Q_{г}$  – максимальный объем отработавших газов на 1 кВт мощности двигателя внутреннего сгорания экологического стандарта Евро в среднем при тяжелых условиях эксплуатации составляет 0,00084 м<sup>3</sup>/с [2];

Спдк – предельно-допустимая концентрация окислов азота в рудничной атмосфере 0,00026 %;

Сг – концентрация окислов азота (оксидов азота) в отработавших газах двигателя внутреннего сгорания.

### **Вывод**

Задаваясь в проекте предельной концентрацией окислов азота в отработавших газах двигателя внутреннего сгорания, по формуле определяется норматив подачи свежего воздуха, необходимого для разжижения выхлопных газов до предельно-допустимой концентрации:

- при Сг = 0,025%  $q = 3,6$  м<sup>3</sup> в мин. на 1 л.с. или 0,08 м<sup>3</sup>/с на 1 кВт;
- при Сг = 0,03%  $q = 4,3$  м<sup>3</sup> в мин. на 1 л.с. или 0,097 м<sup>3</sup>/с на 1 кВт.

### **Источники**

- 1 Правила обеспечения промышленной безопасности для опасных производственных объектов, ведущих горные и геологоразведочные работы. Утверждены приказом Министра по инвестициям и развитию Республики Казахстан от 30.12.2014. – № 352.
- 2 Оценка часовых издержек владения и эксплуатационных расходов для промышленных двигателей. – Веб-сайт O&O. – <http://apdnet.cat.com>.

УДК 004.652.4:528.88

## ПОЭТАПНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ БАЗЫ ДАННЫХ ДЛЯ ГНСС МОНИТОРИНГА

Бимурат Ж., Махметова Г.Н.

*Филиал РГП «НЦ КПМС РК» «ИГД им. Д. А. Кунаева», г. Алматы, Казахстан*

**Введение.** Современные горнодобывающие предприятия функционируют в условиях развития деформационных процессов и осадок земной поверхности, обусловленных техногенным воздействием на горный массив, что требует организации систематического геодинамического мониторинга [1]. Традиционные методы наблюдений за деформациями, основанные на высокоточном нивелировании и линейных измерениях, обеспечивают высокую точность, однако отличаются значительными временными затратами и ограниченной оперативностью. В связи с этим в последние годы широкое распространение получили технологии ГНСС, применяемые для контроля деформационных процессов в зонах влияния горных работ и оценки их воздействия на прилегающие территории.

Применение ГНСС-мониторинга обеспечивает высокую точность измерений, автоматизацию обработки данных и интеграцию с геоинформационными системами, что подтверждается современными исследованиями комплексного геодинамического мониторинга на горнодобывающих объектах [2, 3]. Вместе с тем наблюдения, выполняемые преимущественно в статическом режиме с фиксацией необработанных данных с интервалом порядка 5 секунд, приводят к быстрому накоплению значительных объемов пространственно-временной информации. В этой связи актуальной является задача проектирования специализированных баз данных для эффективного хранения, обработки и анализа ГНСС-данных. Использование СУБД PostgreSQL с расширением PostGIS позволяет реализовать пространственный анализ, оптимизацию запросов и интеграцию с ГИС, что делает данный подход перспективным для геодезического мониторинга деформационных процессов на горнодобывающих объектах [4].

**Цель и задачи исследования.** Анализ и проектирование базы данных для ГНСС-мониторинга выполняются поэтапно и начинаются с определения целей системы, круга пользователей и перечня решаемых задач, включая хранение геопространственной информации и обработку временных рядов. Учет требований исследователей, аналитиков и инженеров позволяет задать функциональные параметры системы на начальном этапе проектирования.

На следующем этапе формируется структура данных и выбираются способы их представления, включая числовые, временные и пространственные параметры. Для хранения геоданных используется расширение PostGIS, а для неструктурированной информации — форматы типа JSON. Дополнительно оцениваются объемы данных и перспективы их роста, что обеспечивает возможность масштабирования базы данных [5].

Последующим шагом является анализ характера поступления данных и частоты их обновления. Уточняется, будут ли ГНСС-измерения загружаться в систему в режиме реального времени или с заданной периодичностью, а также определяется необходимость ведения истории изменений и журналирования данных. На основе этих требований формируются критерии производительности и доступности системы.

Этап выбора программно-технической платформы базируется на результатах анализа структуры и характера данных. В качестве основы системы выбрана

реляционная модель данных, обеспечивающая строгую структуру таблиц и поддержку связей между объектами. Использование СУБД PostgreSQL позволяет реализовать транзакционность и целостность данных в соответствии с принципами ACID, а также эффективно хранить взаимосвязанные объекты, включая геодезические пункты, данные измерений и их характеристики.

После выбора СУБД выполняется этап проектирования логической схемы базы данных. Разработанная структура ориентирована на хранение геопространственных данных с учетом их временной и атрибутивной составляющих и включает таблицы геодезических пунктов, пространственных измерений, метаданных координатных систем, а также классификационной информации. Применение нормализованной структуры позволяет минимизировать дублирование данных и упростить управление связями между объектами, а использование расширения PostGIS обеспечивает выполнение пространственных операций и интеграцию с ГИС.

Завершающий этап методики включает оптимизацию структуры базы данных и запросов за счет применения пространственных и временных индексов, а также партиционирования по дате измерений, что повышает производительность при работе с большими объемами данных. Одновременно рассматриваются вопросы надежности и практического применения системы, включая репликацию, резервное копирование и интеграцию с ГИС-платформами, такими как QGIS, обеспечивающими представление ГНСС-данных в виде пространственных слоев с атрибутивными таблицами и их последующий анализ [6].

**Результаты.** В результате реализации предложенного подхода сформирована и наполнена база данных ГНСС-мониторинга, интегрированная с геоинформационной средой. На рисунке представлено пространственное распределение пунктов ГНСС-наблюдений, загруженных из базы данных PostgreSQL/PostGIS и отображенных в ГИС-проекте. Пункты мониторинга представлены в виде точечных объектов с уникальными идентификаторами и наименованиями, что обеспечивает их однозначную идентификацию и пространственную привязку.

Атрибутивная таблица слоя содержит основные параметры ГНСС-измерений, включая дату наблюдений и координатные значения, что позволяет рассматривать данные как пространственно-временные ряды.

Организация данных в виде отдельных серий наблюдений, представленных в структуре проекта, позволяет учитывать повторяемость измерений во времени и выполнять анализ динамики смещений для отдельных пунктов мониторинга.



Рисунок 1 – Пространственное распределение пунктов ГНСС

	OBJECTID *	Shape *	name	date	y7	x7
1	1	Point ZM	Rudnik	13.10.2025	4821520,7667	457560,3837
2	2	Point ZM	База	14.10.2025	4812866,0345	463225,6465
3	3	Point ZM	Ashibulak	14.10.2025	4822516,936	464290,3128
4	4	Point ZM	Karatas	14.10.2025	4817446,2424	467231,3348
5	5	Point ZM	RP205	14.10.2025	4820877,5095	460027,3941
6	6	Point ZM	RP210	13.10.2025	4820022,096	457451,4532

**Рисунок 2 – Представление серий ГНСС-измерений в атрибутивной таблице ГИС**

### Выводы

В работе реализован пошаговый подход к проектированию базы данных для ГНСС-мониторинга, обеспечивающий эффективное хранение и обработку пространственно-временных данных. Использование PostgreSQL с расширением PostGIS позволяет корректно организовать координатные и атрибутивные данные и интегрировать их с ГИС-системой QGIS. Предложенная структура базы данных обеспечивает наглядную визуализацию и анализ серий ГНСС-наблюдений и может быть использована в задачах мониторинга деформационных процессов земной поверхности.

### Источники

- 1 Шеин Н.С., Тихонова С.А., Стручкова Г.П., Капитонова Т.А., Тарская Л.Е. Мониторинг динамики деформаций и влажности грунта на территории Иреляхского дражного полигона по данным Sentinel-1 и Landsat. Горная промышленность. 2025;(4S):104-111. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2025-4S-104-111>
- 2 Панжин А.А., Панжина Н.А. Мониторинг геодинамических процессов на горных предприятиях и урбанизированных территориях // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2007, № 3. – С. 172-184.
- 3 Baltiyeva, A. A., Orynassarova, E., Bimurat, Z., & Makhmetova, G. (2025). Comprehensive ground-space monitoring of geodynamic processes at the Mirgalimsay deposit. Proceedings of 25th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2025, 25(2.1). <https://doi.org/10.5593/sgem2025/2.1/s09.16>
- 4 Ikechukwu, Maduako N., and Francis I. Okeke. "Towards Realisation of Heterogeneous Earth-Observation Sensor Database Framework for the Sensor Observation Service based on PostGIS." *arXiv preprint arXiv:1802.06183* (2018).
- 5 PostGIS 2.3 Manual. Chapter 4. Using PostGIS: Data Management and Queries. Open Source Geospatial Foundation. 2015. – [https://postgis.net/docs/manual-2.3/using\\_postgis\\_dbmanagement.html](https://postgis.net/docs/manual-2.3/using_postgis_dbmanagement.html)
- 6 QGIS User Guide 1.8.0 (Russian). GIS-Lab. 2012 – [https://gis-lab.info/docs/qgis/user\\_guide/qgis-1.8.0\\_user\\_guide\\_ru.pdf](https://gis-lab.info/docs/qgis/user_guide/qgis-1.8.0_user_guide_ru.pdf)

УДК 622.012:658.5:622.68

## **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ГЕОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ КАРЬЕРОВ НА ОСНОВЕ ПРОЕКТНЫХ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ И ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

**Бояндинова А.А., Адилханова Ж.А.**

*Филиал РГП «НЦ КПМС» «ИГД им. Д.А. Кунаева», г. Алматы, Казахстан*

Активное внедрение цифровых технологий, автоматизированных систем и интеллектуальных средств поддержки управления в горнодобывающей отрасли открывает возможности для более высокого уровня организации производства и повышения качества управленческих решений на основе анализа больших массивов данных и прогнозирования производственных ситуаций [1]. Вместе с тем опыт функционирования горнодобывающих предприятий показывает, что в реальных условиях управленческие решения часто принимаются несвоевременно или недостаточно обоснованно, что снижает эффективность деятельности, увеличивает издержки и усиливает риски нарушения устойчивости производственных процессов. В условиях высокой капиталоемкости и сложности горных работ роль качества управления возрастает, поскольку даже незначительные управленческие ошибки способны вызвать существенные экономические потери и негативно повлиять на стабильность предприятия.

Несмотря на развитую научную базу, накопленный практический опыт и широкий выбор автоматизированных систем, проблема повышения эффективности технологического управления в горнодобывающей отрасли остаётся нерешённой, поскольку существующие подходы, как правило, носят фрагментарный характер и не обеспечивают комплексного учёта взаимосвязей между технологическими, производственными и эксплуатационными параметрами. Это снижает достоверность планирования и прогнозов, требует дальнейшего развития интегрированных методов управления, ориентированных на повышение обоснованности и оперативности управленческих решений, оптимизацию процессов и обеспечение устойчивого развития предприятий в условиях возрастающей неопределённости.

Авторами работы предложен научно-обоснованный подход к формированию проектных управленческих решений для геотехнологических комплексов карьеров. Он базируется на применении системы автоматизированного оперативного календарного планирования технологических процессов [2], методов имитационного моделирования и гибкого регламентированного нормирования технологических показателей [3]. Обоснованы ключевые показатели проектных управленческих решений для геотехнологических комплексов карьеров, которые условно можно разделить на следующие группы: технологические, экономические, показатели эффективности и потенциальные риски. Использование данных показателей обеспечивает оперативную оценку и анализ управленческих решений, формирование обоснованных норм выработки оборудования и разработку реалистичных планов горно-транспортных работ с учётом конкретных горно-геологических и горнотехнических условий эксплуатации карьеров.

Практическая значимость работы заключается в обеспечении многокритериальной оценки проектных управленческих решений с учётом технологических, экономических и риск-факторов, что позволяет повысить их качество и надёжность, точность планирования горно-транспортных работ, адекватность плановых решений реальным условиям, устойчивость функционирования производственной системы и общую эффективность горнодобывающего предприятия.

Таким образом, предложенный авторами научно-обоснованный подход обеспечивает переход от фрагментарного планирования к системной, интегрированной модели управления производством. Комплексное использование автоматизированного календарного планирования, имитационного моделирования и гибкого нормирования технологических показателей формирует методическую основу для повышения обоснованности и адаптивности управленческих решений. Реализация разработанного подхода способствует росту производительности, снижению производственных издержек и укреплению устойчивости горнодобывающего предприятия в условиях изменяющихся горно-геологических и рыночных факторов.

### **Источники**

- 1 Mariz J. L. V., Peroni R., de Abreu Silva R. M., Badiozamani M. M., Askari-Nasab H. A multi objective constraint programming approach to address clustering problems in mine planning // *Engineering Computations*. 2024, vol. 41, no. 3, pp. 2682-2706.
- 2 Адилханова Ж.А. Разработка методического обеспечения корпоративного оперативного планирования горно-транспортных работ при управлении геотехнологическими комплексами: дисс. ... канд. техн. наук, Алматы, 2009. 118 с.
- 3 Adilkhanova Zh., Boyandinova A. Concept of Management System of Technological Processes at Open Pits // *Proceedings of the 18th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2018, Albena, Bulgaria, 2018*. pp. 191-196.

УДК 622.831:622.82

**ОЦЕНКА РИСКОВ НЕЗАЛОЖЕННЫХ ВЫРАБОТАННЫХ ПРОСТРАНСТВ ПРИ СИСТЕМАХ РАЗРАБОТКИ С ЗАКЛАДКОЙ НА ИНФРАСТРУКТУРУ РУДНИКА**Гайнулин А.Б.<sup>1</sup>, Ананин А.И.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Восточно-Казахстанский технический университет им. Д.Серикбаева,  
г. Усть-Каменогорск, Казахстан,*

<sup>2</sup>*Филиал РГП «НЦ КПМС РК» «ВНИИцветмет», г. Усть-Каменогорск, Казахстан*

Одной из проблем при применении систем разработки с закладкой выработанного пространства является образование незапланированных или технологически неизбежных незаложенных пустот. Их накопление приводит к формированию зон концентрации напряжений, внезапные и незапланированные самообрушения пород, неконтролируемое сдвигание горных пород и, как следствие, создает прямую угрозу безопасности ведения горных работ и состоянию объектов на земной поверхности.

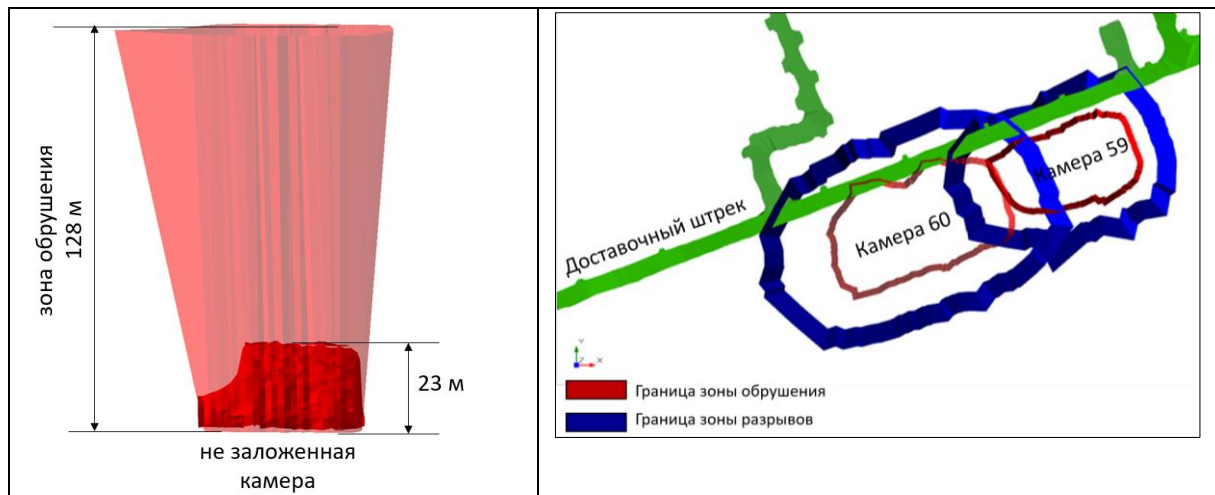
Долинное месторождение отрабатывают подэтажно-камерной системой разработки с закладкой выработанного пространства. Заполнить камеру под кровлю при трубопроводном транспорте закладочной смеси практически невозможно. При высоте закладываемой камеры 20 м длиной 30 м величина недозаклада составляет 3-4 м. Незаложенные пустоты на руднике образуются также в результате нарушения технологии очистных и закладочных работ. В Блоке №2 при объеме заложенного пространства – 220 тыс. м<sup>3</sup> объем незаложенных камер составляет 150 тыс. м<sup>3</sup>, а объем недозаклада составляет 9 тыс. м<sup>3</sup>.

Подработанная кровля камер может с течением времени разрушаться на незаложенную пустоту. Обрушение развивается пока не заполнит ее за счет разрыхления пород. Необходимо оценивать границы зон обрушений из-за опасности попадания в них действующих горно-подготовительных выработок.

Для незаложенных камер и камер с недозакладом на Долинном руднике, отстроены 3D-модели зоны возможного обрушения. Коэффициент разрыхления пород при самообрушении принят 1,18 [1], т.е. высота зоны обрушения над пустотой  $h = 5,55 m$ , где  $m$  высота пустоты. Угол обрушения принят равным 85 градусам [2].

На рисунке 1 (а) приведен пример построения зоны обрушения над незаложенной камерой 60 блока 2 длиной 47 м и высотой 23 м (объем пустоты 7560 куб.м), отрабатанной с горизонта + 335 м. На рисунке 1 (б) приведен план горизонта + 375 м с предполагаемыми выходами зон обрушений от отрабатанных и незаложенных камер №59 и 60. Доставочный штрек попадает в зону обрушения и его надо вывести из эксплуатации в этом районе.

Отстроенные 3D-модели зон возможного обрушения от оставленных пустот на Долинном руднике позволили разработать рекомендации по погашению отдельных пустот закладкой, закрыть доступ в действующие выработки более чем на 50 участках. Это повысило безопасность ведения горных работ.



а)

б)

**Рисунок 1 – Отстройка границ зон обрушения: а) на разрезе от отработанной и незаложенной камеры 60; б) на плане горизонта +375 м от отработанных камер №59 и 60**

### Источники

- 1 Разрыхление пород при обрушении и условия образования провалов / А.Б. Макаров А.И. Ананин, Д.В. Мосякин // Горный журнал. – 2017. – № 3. – С. 32-35.
- 2 Временные правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных разработок месторождений руд цветных металлов с неизученным процессом сдвижения горных пород. – Л, 1986.

УДК 622:004.94:351

## ИНТЕГРАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЙ УМНЫХ КАСОК В ЦИФРОВОЙ ДВОЙНИК ГОРНОТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ КАК МЕХАНИЗМ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ГОСУДАРСТВЕННОГО УПРАВЛЕНИЯ НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЕМ

Галиев Д.А.<sup>1</sup>, Абилханов С.С.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Филиал РГП «НЦ КПМС РК» «ИГД им. Д. А. Кунаева», г. Алматы, Казахстан,

<sup>2</sup>Карагандинский университет Казпотребсоюза, г. Караганда, Казахстан

Цифровая трансформация горно-металлургического комплекса Республики Казахстан сопровождается формированием новых инструментов государственного управления недропользованием, основанных на данных, искусственном интеллекте и цифровых двойниках производственных систем. В условиях повышения требований к промышленной безопасности, прозрачности недропользования и ESG-показателям особую актуальность приобретает интеграция персонализированных источников данных в единую цифровую модель предприятия.



**Рисунок 1 – Функциональная структура умной каски**

Одним из таких источников являются интеллектуальные средства индивидуальной защиты (умные каски), оснащённые модулями позиционирования, контроля газовой среды, биометрии и датчиками опасного сближения. Их интеграция в цифровой двойник горнотехнической системы позволяет перейти от фрагментарного мониторинга к формированию целостного контура ситуационной осведомлённости, включающего персонал, технику и параметры окружающей среды.

Целью исследования является разработка научно-методических основ интеграции технологий умных касок в архитектуру цифрового двойника горнотехнической системы как инструмента совершенствования государственного управления недропользованием.

Для достижения поставленной цели решены следующие задачи:

– анализ существующих подходов к цифровизации государственного контроля в сфере недропользования;

- формирование архитектурной модели интеграции умной каски в цифровой двойник карьера/шахты;
- разработка структуры потоков данных и алгоритмов обработки информации с применением методов машинного обучения;
- оценка влияния интеграции персонализированных данных на показатели промышленной безопасности и прозрачности производственных процессов;
- формирование предложений по использованию агрегированных данных в системе государственного мониторинга.

В ходе исследования разработана понятная и практико-ориентированная модель интеграции умных касок в цифровой двойник горнотехнической системы. Предложенная архитектура включает пять уровней:

1. Уровень устройств – умная каска с датчиками местоположения, газа, движения и физиологических параметров.
2. Уровень связи – передача данных по промышленным беспроводным каналам.
3. Уровень обработки – первичная фильтрация и анализ данных на сервере предприятия.
4. Уровень цифрового двойника – отображение персонала, техники и среды в единой цифровой модели карьера или шахты.
5. Аналитический уровень – формирование отчетности и прогнозной аналитики.

Интеграция умных касок позволяет в режиме, близком к реальному времени:

- видеть точное местоположение работников в опасных зонах;
- фиксировать превышение концентраций вредных газов;
- выявлять опасное сближение персонала с техникой;
- отслеживать резкие изменения состояния работника (падение, перегрев, тахикардия).

Цифровой двойник объединяет данные о персонале, технике и окружающей среде в единую информационную модель. Это позволяет автоматически определять зоны повышенного риска и формировать предупреждения для диспетчера и ответственных служб.

В рамках апробации предложенной модели получены следующие практические эффекты:

- сокращение времени обнаружения потенциально опасной ситуации;
- снижение количества нарушений регламентов нахождения в опасных зонах;
- повышение точности расследования инцидентов за счет наличия цифровых журналов событий;
- формирование объективной базы данных для внутреннего и государственного контроля.

Дополнительно показано, что агрегированные и обезличенные данные цифрового двойника могут использоваться для формирования риск-ориентированной модели государственного надзора. Это позволяет органам регулирования получать объективную картину соблюдения требований промышленной безопасности без постоянного присутствия на объекте.

Таким образом, интеграция умных касок в цифровой двойник не только повышает уровень безопасности на предприятии, но и создает основу для перехода к цифровому формату государственного управления недропользованием.

Интеграция технологий умных касок в цифровой двойник горнотехнической системы обеспечивает формирование единого информационного пространства, объединяющего данные о персонале, технике и производственной среде.

Использование персонализированных данных в режиме, близком к реальному времени, позволяет повысить уровень промышленной безопасности за счёт раннего выявления опасных ситуаций и оперативного реагирования.

Цифровой двойник с интегрированными данными умных касок создаёт объективную и непрерывную цифровую историю производственных процессов, что повышает прозрачность деятельности недропользователя.

Агрегированные и обезличенные показатели могут использоваться в системе риск-ориентированного государственного контроля, обеспечивая переход от эпизодических проверок к проактивному цифровому мониторингу.

Предложенный подход формирует научно-методическую основу для совершенствования государственного управления недропользованием на основе данных, цифровых технологий и элементов искусственного интеллекта.

### **Источники**

- 1 Uteshov E.T., Galiyev D. Digitalization of technological and organizational processes of mining operations through implementation of monitoring and key performance accounting systems // News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of Geology and Technical Sciences. – 2020. – № 5 (443). – P. 47-53.
- 2 Жусупов К.К., Галиев С.Ж., Галиев А.Ж. Адилханова Ж.А., Галиев Д.А. Алгоритм управления процессом блочно-ориентированного формирования рудного штабеля на внутрикарьерном усреднительном перегрузочном складе асбестовых карьеров // Горный журнал Казахстана. – 2010. – №11. – С. 38-41.

УДК 001.895

## О РАЗВЕРТЫВАНИИ В УНИВЕРСИТЕТАХ КАЗАХСТАНА ИННОВАЦИОННОЙ СЕТИ НОВОГО ТИПА – ВНЕСТРУКТУРНЫХ АВТОНОМНЫХ ЕДИНИЦ «НАУЧНЫЕ ШТУРМОВЫЕ РОТЫ»

Дуйсебаев Б.О.

РГП «НЦ КИМС РК», г. Алматы, Казахстан

### 1. Базовая идея

Для решения жизненно важных для государства задач в 20-м веке во многих странах были разработаны и применены методы создания специальных групп с особой, чрезвычайно высокой подготовкой их личного состава. Наиболее известные в истории примеры:

1) Силы специального назначения Армии США (англ. *U.S. Army Special Forces*) более известные как «Зелёные береты» (*Green Berets*) – отборные подразделения Армии США, предназначенные для ведения партизанской войны и осуществления специальных операций (контрпартизанских, диверсионных, контртеррористических и тп).

2) Воздушно-десантные войска (ВДВ) СССР/России – «Голубые береты». Голубой цвет здесь – символ неба.

3) **Краповый берет** – высшая форма отличия, символ доблести и профессионализма бойцов спецназа войск Национальной гвардии (ранее ВВ МВД) России и ряда других стран. Он присваивается за мужество в бою или по результатам жестких квалификационных испытаний (марш-бросок, стрельба, рукопашный бой), подтверждающих высочайшую боевую подготовку. Краповый цвет – тёмно-красный, символизирует кровь, пролитую спецназовцами.

4) **Физико-технические факультеты** в политехнических институтах СССР для усиленной подготовки специалистов для ядерных предприятий. Подготовка предусматривала наряду с глубоким изучением фундаментальных дисциплин раннее получение студентами практических знаний и навыков на предприятиях и в лабораториях.

5) Программы образования высшего качества (**Excellent education**) Токийского университета (Today), включая естественные науки, инженерию, право и экономику, с акцентом на передовые исследования в области технологий.

6) Программы **Кембриджского университета** по созданию стартапов студентами.

По аналогии с вышеприведенными примерами, в университетах страны следует организовать усиленную подготовку слоя суперспециалистов, которые смогут решать реальные технологические задачи, создавать новые технологии и производства. Завоевание Казахстаном достойных мировых позиций в научно-технологической сфере требует применения всех возможных инструментов и стратегий. К таковым и относится предлагаемая концепция развертывания в университетах специализированных Научных штурмовых рот (НШР). Термин «Научные» говорит сам за себя. Термин «Штурмовые» здесь отражает их пребывание в режиме постоянного мозгового штурма. Термин «Рота» символизирует то, что она будет брать все новые и новые высоты в науке через свою высокую организованность, дисциплину, смелость, упорство и натиск.

### 2. Механизм формирования НШР

Базовым слоем персонала научных рот предполагаются магистранты, аспиранты и докторанты университетов. При этом в роты могут вовлекаться, с одной стороны, молодые талантливые бакалавры, с другой стороны – опытные ученые из числа

преподавателей и профессоров. Тем самым будет обеспечиваться преемственность поколений ученых.

Первый шаг формирования роты - подбор лидеров-командиров роты, с учетом мнения руководства университетов, факультетов и кафедр. Командир роты должен иметь лидерские навыки, умение и желание решать сложные научные задачи. Второй шаг – выбор научной задачи или ряда задач, над которыми будет работать рота. Выбор может быть произведен, исходя из каких-либо действующих в университете научных программ, либо из предпочтений и опыта командира роты, либо по рекомендации/заявке предприятия-партнера. Третий шаг – формирование командиром роты основного состава роты с учетом предстоящих задач. Численность роты не оговаривается, но должна соответствовать масштабу задачи. Четвертый шаг – встреча личного состава роты с руководством заинтересованного партнерского предприятия с обсуждением плана будущих работ. Пятый шаг – распределение ответственности, составление детальных планов на квартал или год.

По мере роста числа и численности состава роты, они при необходимости могут организационно объединяться в более крупные единицы – батальоны.

### **3. Механизм функционирования НШР**

На первых этапах проекта для членов НШР остаются в неизменном виде все базовые академические программы университета. Дополнительная работа в роте позволит студентам более осмысленно их воспринимать и использовать полученные знания в своих собственных проектах, решаемых ротами. В идеале, разработки членов роты должны заканчиваться конкретными коммерческими стартапами, которые далее могут вырасти в малый, средний или даже в большой бизнес. Другими словами, студенты смогут заблаговременно создавать для себя хорошие рабочие места после окончания учебы, как внутри альма-матер, так и вне ее. Технически работа роты может заключаться в непрерывном обмене идеями, информацией и результатами внутри роты и с внешним заинтересованным предприятием, а также с руководством университета. Одной из важных составляющих этой усиленной подготовки студентов будет получение ими опыта и навыков нахождения финансовой, технической, административной и других видов поддержки своих проектов. Рекомендуются регулярные коллективные обсуждения научных и технических аспектов проекта как внутри роты, так и с другими ротами. Такие обсуждения могут проводиться на базе профильных кафедр и лабораторий университета.

### **4. Финансовая и информационная поддержка проектов**

По мировому опыту решений технологических задач считается, что более 80 % любой проблемы можно решить с помощью хорошего литературного обзора (то есть анализа известных решений). Еще около 15 % проблемы снимаются хорошей математической моделью. На эти части в большинстве случаев практически не требуется какого-то особенного финансирования, достаточно людского и временного ресурсов роты. Еще более эта доля может быть повышена с применением искусственного интеллекта. Таким образом, разработчику обычно остается проверить менее 5 % проблемных вопросов путем экспериментов, либо через консультации тех, кто уже решал подобные задачи. Для финансирования этой части могут быть использованы имеющиеся ресурсы университета либо индустриальных партнеров, а также ресурсы технопарков, инновационных фондов и других подобных структур. По мере накопления опыта исполнения инновационных проектов у каждой роты будут появляться все новые заинтересованные партнеры и будут расширяться технологические возможности роты. На основе всего массива выполненных и выполняемых проектов должна быть развернута соответствующая цифровая платформа. С ее помощью можно будет быстро и широко информировать большое количество потенциальных инвесторов о проектах.

## **5. Актуальность проекта для государства**

Одной из целей предлагаемого проекта является преодоление (для начала хотя бы частично) тенденции постоянно расширяющейся утечки за пределы Казахстана талантов, идей, технологий, финансов. Если талантливая молодежь страны сможет успешно реализовывать свои самые амбициозные замыслы именно у себя на родине, то перспективы Казахстана как успешного процветающего государства будут обеспечены. Также возникнут возможности для приезда в Казахстан талантливой молодежи из других стран.

## **6. Ожидаемые эффекты проекта**

- А) Появление большого числа новых инноваций, доведенных до реализации;
- Б) Формирование широкого слоя креативной молодежи в научно-технологической сфере;
- В) Выход Казахстана на передовые позиции в мире по инновационности экономики;
- Г) Повышение привлекательности инженерных и технических специальностей университетов для абитуриентов;
- Д) Повышение материальной и моральной удовлетворенности студентов, сокращение доли желающих покинуть страну во время или после учебы;
- Е) Широкое вовлечение огромного накопленного потенциала знаний ветеранов науки и производства страны в работу с молодежью через конкретные проекты научных рот.

Вышеуказанные факторы приведут не только к неминуемому росту ВВП страны, но и к многочисленным другим эффектам – экологическим, социальным, демографическим, геополитическим.

УДК 539.25

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НЕЙРОННОЙ СЕТИ YOLOV8 ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ УРОВНЯ ФРАКТАЛЬНОСТИ ПОРИСТОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Жапаков Р.М.<sup>1</sup>, Жайсанбаев Ж.К.<sup>2</sup>, Мурзалинов Д.О.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>*Satbayev University, г. Алматы, Казахстан*

<sup>2</sup>*Пограничная академия комитета национальной безопасности РК, г. Алматы, Казахстан*

<sup>3</sup>*РГП «НЦ КПМС РК», г. Алматы, Казахстан*

**Введение.** На сегодняшний день, внедрение искусственного интеллекта обеспечило развитие практически всех отраслей промышленности. Однако точность анализа цифровых технологий, для получения материалов с высоким качеством не высока.

Качественные характеристики металлов и других материалов зависят от распределения и формы инородных включений в их объеме [1]. Однородное распределение и правильная геометрическая форма включений являются причинами высокой прочности и других параметров.

Важными в технологическом плане являются пористые вещества. Особый интерес вызывает наличие нескольких видов пор на одной поверхности - иерархический дизайн.

В данной работе предлагается новый способ анализа фрактальных характеристик (инвариантности свойств относительно изменения масштаба) поверхности пористых тел, с применением нейросети YOLOv8. Фрактальная размерность определяет степень сложности и порядка структуры материалов.

Нейронная сеть, созданная и обученная для классификации изображений, определяет класс объекта и возвращает его название, а также вероятность этого предсказания. Кроме того, она определяет координаты объекта и его форму на изображении. Также возможно обнаружение нескольких объектов на изображении и их ограничивающих рамок. Для этих целей было разработано множество различных архитектур нейронных сетей. Однако нейросеть YOLO использует единую платформу для решения всех этих задач.

Процесс получения иерархической поверхности путем образования пор в кремнии является неравновесным.

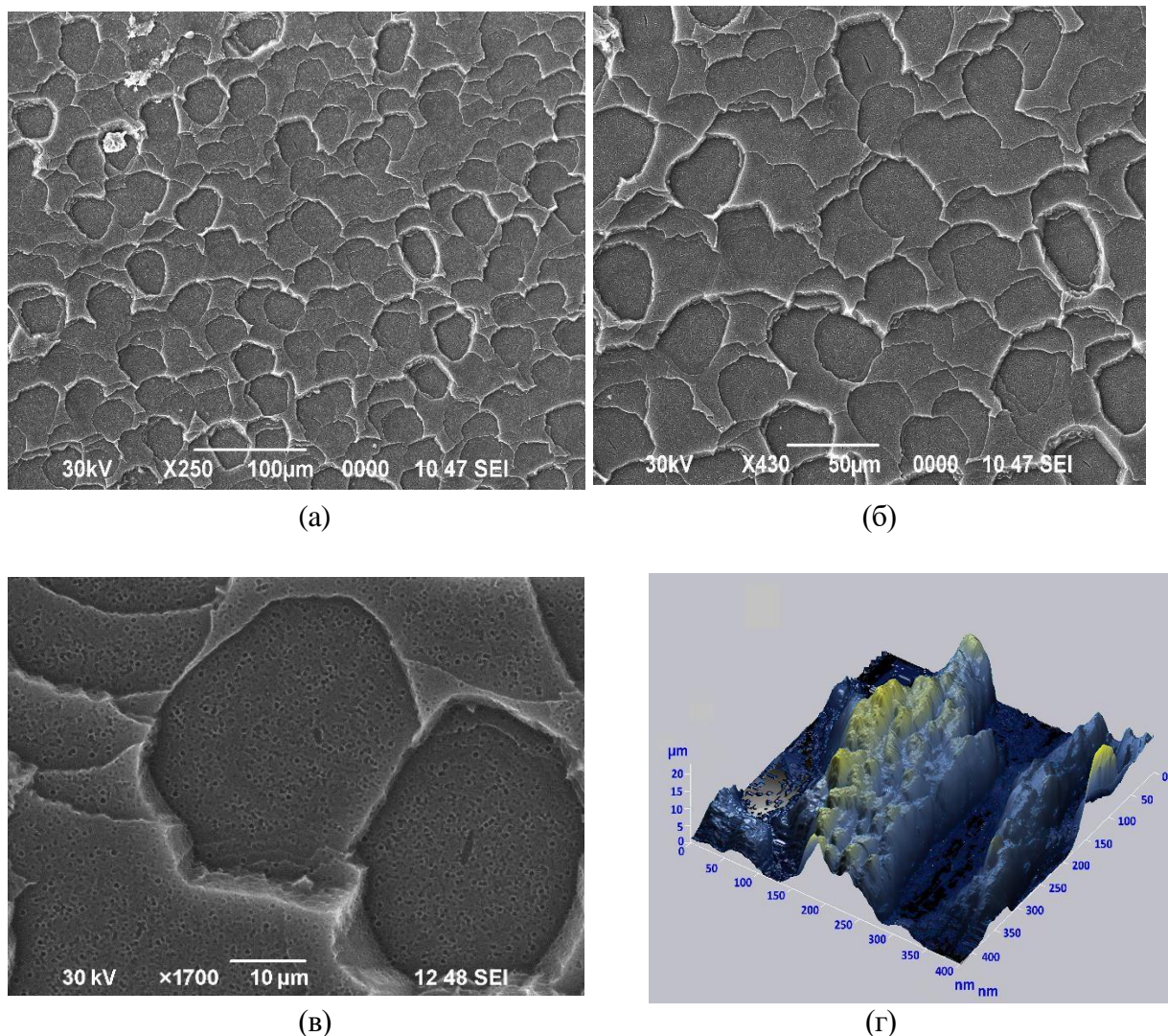
Применение метода «Box counting» в наших предыдущих исследованиях [2] позволило четко определить наличие фрактальных свойств поверхности пористых структур. Однако точно рассчитать фрактальную размерность и какие-либо дополнительные данные не удалось. В данном исследовании нейронная сеть подсчитывала количество пор на изображениях сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) при последовательном изменении их масштаба. С учетом процесса обучения нейронной сети и отсутствия человеческого труда, погрешность измерения значительно снижается.

**Цель исследований.** Изучение фрактальных свойств иерархической структуры пористого кремния с высокой точностью, путем применения нейросети YOLOv8, как пример выявления распределения инородных включений в веществе, определяющих качественные характеристики.

### Задачи исследований:

1. Определение морфологии поверхности иерархического пористого кремния.
2. Расчет фрактальной размерности для каждого уровня поверхностной иерархии.

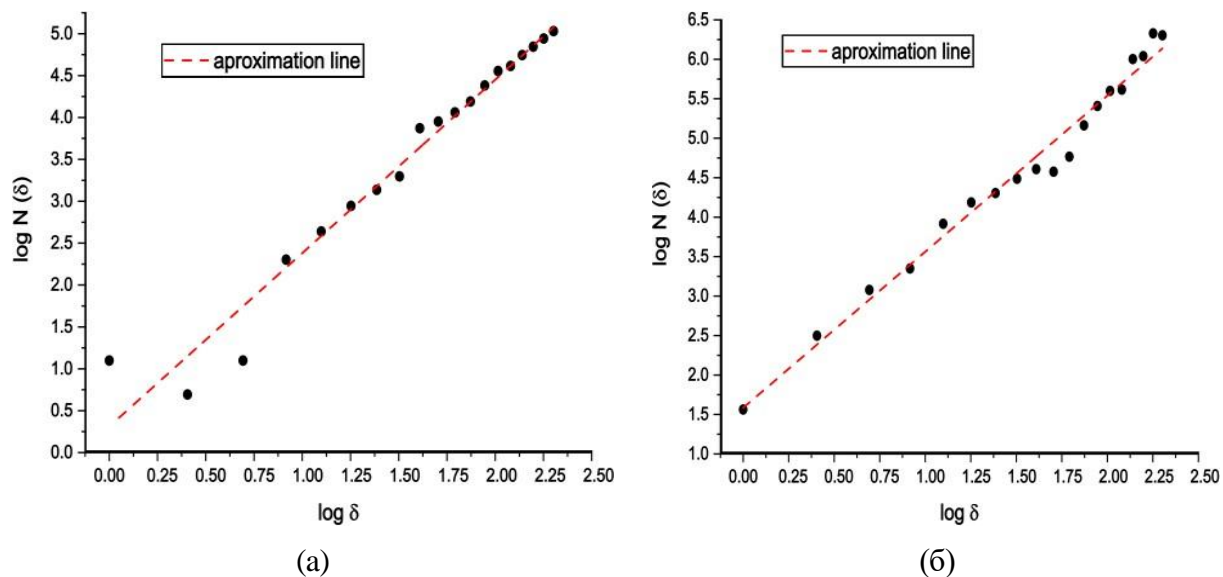
**Основные результаты.** Далее представлены снимки СЭМ, на которых заметна многоступенчатая иерархическая структура поверхности исследованных образцов (Рисунок 1).



**Рисунок 1 – СЭМ изображения исследованных образцов: (а) Изображения макропористой структуры образцов, масштаб 100 мкм; (б) Изображения макропористой структуры образцов, масштаб 50 мкм; (в) Изображения микропористой структуры образцов; (г) Нанокристаллы вещества, расположенные между порами**

Исходя из того, что при увеличении масштаба рассмотрения поверхности все большее количество пустот учитывается нейросетью и плотность вещества уменьшается, вид данного фрактала является массовым.

На рисунке (а) представлен результат исследования фрактальных свойств для первого уровня поверхностной иерархии образцов – макропористой структуры. При этом фрактальная размерность равна  $D = 1.95$ . Данный параметр для второго уровня иерархии (микропористой структуры) равен  $D = 1.96$  (рисунок (б)). Взаимосвязь уровней обусловлена наличием одинаковой фрактальной размерности.



**Рисунок 2 – Зависимость логарифма количества пор  $N(\delta)$  от масштаба  $\delta$  для (а) для макропористого уровня структуры (б) для микропористого уровня структуры**

Точность подсчета количества пор нейросетью составили 92%, что подтверждает высокую эффективность данного анализа. После точного определения параметров фрактальности (в частности размерность фрактальности) можно утверждать о том, что размерность одинакова для разных уровней иерархии. Поэтому применение нейро сетей позволяет точно определить идентичность данных параметров для разных уровней иерархии и, следовательно, выявить взаимосвязь между уровнями. Алгоритм, заложенный в нейронную сеть, будет полезен для расчёта фрактальных объектов с еще более сложной структурой (3,4,5 ступенчатой иерархией).

На изучаемой поверхности были сформированы различные по размерам поры и кристаллиты между ними. Наличие такого разнообразия существенно влияет на прочность и другие характеристики материала.

### **Выводы**

Определена многоступенчатая поверхностная морфология поверхности образцов пористого кремния. Повышение точности подсчета количества пор с помощью нейронной сети позволило определить фрактальную размерность для всех уровней иерархии. Взаимосвязь между макропористой и микропористой структурой поверхности обусловлена одинаковой фрактальной размерностью.

### **Источники**

- 1 Bai, Y., Zheng, S., Liu, N., Liu, Y., Wang, X., Qiu, L., & Gong, A. (2024). The role of rare earths on steel and rare earth steel corrosion mechanism of research progress // *Coatings*. - 2024. – №14(4). – С.465.
- 2 Murzalinov, D.; Serejavina, T.; Kemelbekova, A.; Spivak, Y.; Moshnikov, V.; Mukhamedshina, D.; Mit', K.; Ussipov, N.; Dmitriyeva, E.; Zhantuarov, S.; et al. Investigation of Surface Nanoclusters and Paramagnetic Centers of ZnO/Por-Si Structures as the Basis of Sensory Properties // *Processes*. – 2023. – №11. – С. 3332.

УДК 543.4:549.07

## МЕТОД ПРОБОПОДГОТОВКИ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ОБРАЗЦОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СМЕСИ СУЛЬФАТА И БИФТОРИДА АММОНИЯ

Медков М.А.<sup>1</sup>, Зарубина Н.В.<sup>2</sup>, Молчанов В.П.<sup>2</sup>, Иванников С.И.<sup>1</sup>, Дмитриева Е.Э.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Институт химии Дальневосточного отделения Российской академии наук,  
г. Владивосток, Россия*

<sup>2</sup> *Дальневосточный геологический институт Дальневосточного отделения Российской  
академии наук, г. Владивосток, Россия*

**Введение.** Полный количественный элементный анализ горных пород является ключевым для решения широкого спектра геологических, геохимических и экологических задач. Важнейшим этапом такого анализа является пробоподготовка. При различных методах элементного анализа для этого этапа применяются как щелочные [1-7], так и кислотные [2, 3, 8-10] методы полного разложения.

Методы сплавления с карбонатами, гидроксидами щелочных металлов, перекисью натрия, а также с мета- и тетраборатами лития характеризуются высокой трудоёмкостью, необходимостью поддержания высоких температур и значительными временными затратами [1-7]. Кислотное разложение проб в открытых сосудах часто сопровождается неполным растворением матрицы [2, 3, 8, 9], либо в случае фторирования к образованию малорастворимых фторидов кальция, магния и редкоземельных элементов (РЗЭ) [10].

В результате часть аналитической информации теряется, включая данные по РЗЭ и благородным металлам, что ограничивает точность и полноту элементного анализа.

Ранее нами была исследована возможность разложения горных пород с использованием смеси сульфата аммония  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  и бифторида аммония  $(\text{NH}_4\text{HF}_2)$  [11] с последующим определением элементного состава методами плазменной спектromетрии – атомно-эмиссионной спектromетрии с индуктивно связанной плазмой (ИСП-АЭС) и масс- спектromетрии с индуктивно связанной плазмой (ИСП-МС). Было показано, что использование комбинированной системы  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 - \text{NH}_4\text{HF}_2$  обеспечивает более полное разложение силикатной матрицы по сравнению с применением одного бифторида аммония, позволяет сократить число стадий пробоподготовки и приводит к снижению общей солевой нагрузки конечного раствора.

Настоящее исследование направлено на применение методики разложения с использованием смеси сульфата и бифторида аммония к ряду стандартных образцов различного генезиса. Особое внимание уделено микро- и редким элементам, для которых аналитические данные ранее были ограничены или отсутствовали. Совмещение методов ИСП-АЭС и ИСП-МС со статистической валидацией позволило оценить универсальность, устойчивость и аналитические возможности предлагаемой методики для принципиально различных геологических матриц.

**Основные результаты.** Образцами для пробоподготовки были взяты стандартные образцы различного генезиса и состава: метаморфический сланец (ССЛ-1), известковый ил (СДО-3) и железомарганцевая конкреция (NOD-A-1) (таблица 1).

Выбор обусловлен различиями в их генезисе и вещественном составе, включая содержание кремния, что позволяет оценить влияние матричных эффектов на аналитические характеристики метода. Дополнительный интерес представляли образцы с повышенными концентрациями марганца и железа (NOD-A-1), а также кальция (СДО-3). Наличие органической составляющей в образце ССЛ-1 существенно усложняет его перевод в раствор и делает данный материал показательным для анализа влияния сложной матрицы на точность и чувствительность определения элементов.

**Таблица 1 – Содержание аттестованных макрокомпонентов в стандартных образцах, масс. %**

Компоненты	ССЛ-1	СДО-3	NOD-A-1
SiO <sub>2</sub>	63,40 ± 0,23*	11,87 ± 0,03	3,797 ± 0,047
TiO <sub>2</sub>	1,01 ± 0,04	0,29 ± 0,01	0,534 ± 0,007
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16,71 ± 0,20	3,55 ± 0,09	3,873 ± 0,061
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> общ	7,6 ± 0,1	2,41 ± 0,03	15,629 ± 0,060
MnO	0,13 ± 0,01	0,220 ± 0,005	23,945 ± 0,065
MgO	2,52 ± 0,04	3,48 ± 0,07	4,760 ± 0,016
CaO	0,09 ± 0,02	39,35 ± 0,39	15,433 ± 0,055
Na <sub>2</sub> O	0,08 ± 0,01	1,88 ± 0,04	1,045 ± 0,008
K <sub>2</sub> O	3,56 ± 0,03	0,48 ± 0,02	0,602 ± 0,010
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,030 ± 0,004	0,24 ± 0,02	1,375 ± 0,047

\*концентрации с расширенной неопределённостью ( $k=2$ ; доверительная вероятность 95%)

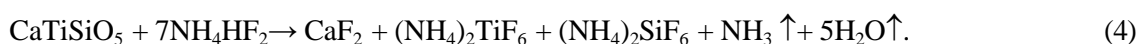
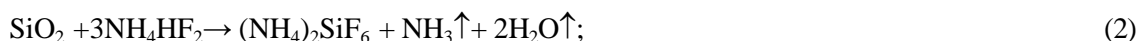
Для пробоподготовки образцов навеску анализируемого материала массой 0,1 г смешивали с 0,4г NH<sub>4</sub>HF<sub>2</sub> и с 0,5г (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> до получения однородной смеси. Полученную смесь подвергали термическому разложению в муфельной печи. Температуру повышали плавно до 350 °С в течение 4 ч, после чего выдерживали при 350 °С в течение 20 мин.

После охлаждения продукт выщелачивали в тигле, последовательно обрабатывая его порциями по 4 мл 16%-й азотной кислоты (HNO<sub>3</sub>) при периодическом перемешивании. После каждого добавления кислоты смесь выдерживали в течение 15 мин.

Прозрачный раствор декантировали через беззольный фильтр («синяя лента») в мерную полипропиленовую колбу объёмом 50 мл. Для предотвращения гидролиза и сорбции ряда элементов в полученный фильтрат добавляли 0,1 мл плавиковой кислоты марки «ОСЧ». Объём раствора в колбе доводили до метки ультрачистой водой типа I.

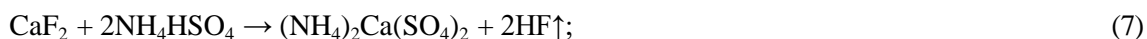
По каждому стандартному образцу проводили 3–5 независимых параллелей разложения для обеспечения статистической достоверности результатов.

При взаимодействии навески горной породы с бифторидом аммония в интервале температур до 200 °С происходит фторирование силикатной матрицы и основных минералообразующих элементов в расплаве реагента. Данный процесс можно описать следующими ключевыми реакциями с образованием простых или комплексных фторидов:



Последующее повышение температуры до 350 °С приводит к термическому разложению сульфата аммония с образованием бисульфата (NH<sub>4</sub>HSO<sub>4</sub>), который взаимодействует с полученными фторидами, конвертируя их в хорошо растворимые сульфаты. Суммарный процесс можно описать следующими реакциями:





Дополнительным преимуществом использования смеси  $\text{NH}_4\text{HF}_2$ – $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  при температурах порядка 350–360 °С является эффективное удаление кремния в газовую фазу в виде  $(\text{NH}_4)_2\text{SiF}_6$ . Поскольку кремний является основным породообразующим компонентом горных пород, это приводит к существенному снижению массы растворённых солей и, как следствие, к упрощению последующих стадий химического анализа

Инструментальные определения концентраций химических элементов выполнены в Приморском центре локального, элементного и изотопного анализа Дальневосточного геологического института ДВО РАН. Определение содержаний основных элементов в форме оксидов ( $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ ) выполняли методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-АЭС) на оптическом эмиссионном спектрометре iCAP 7600 Duo (Thermo Scientific, США). Калибровка проводилась по серии многоэлементных стандартных растворов, приготовленных в матрице 2%  $\text{HNO}_3$ .

Для оценки согласованности результатов элементного анализа, полученных методом ИСП-АЭС/ИСП-МС, с аттестованными значениями стандартных образцов в работе использован критерий нормированной ошибки (En-критерий).

В таблице 2 представлены результаты определения девяти главных компонентов (в форме оксидов:  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ ) в стандартных образцах методом ИСП-АЭС после их пробоподготовки предлагаемым способом. Данные являются средними значениями пяти независимых параллельных определений и представлены в виде « $X \pm \Delta$ », где  $\Delta$  – стандартное отклонение. Погрешность определения не превышает значений, допустимых для рутинного анализа (класс точности III согласно ГОСТ Р ИСО 5725-3), что подтверждает приемлемость методики для количественного элементного анализа.

**Таблица 2 – Результаты определения макрокомпонентов в стандартных образцах методом ИСП-АЭС, мас. %**

Компоненты	ССЛ-1	СДО-3	NOD-A-1
$\text{TiO}_2$	$0,96 \pm 0,02^*$	$0,29 \pm 0,01$	$0,48 \pm 0,04$
$\text{Al}_2\text{O}_3$	$16,46 \pm 0,27$	$3,62 \pm 0,09$	$3,73 \pm 0,13$
$\text{Fe}_2\text{O}_{3\text{общ}}$	$7,45 \pm 0,08$	$2,39 \pm 0,03$	$14,95 \pm 0,55$
$\text{MnO}$	$0,12 \pm 0,01$	$0,23 \pm 0,01$	$23,85 \pm 0,26$
$\text{MgO}$	$2,50 \pm 0,04$	$3,41 \pm 0,15$	$4,80 \pm 0,19$
$\text{CaO}$	$0,09 \pm 0,02$	$40,13 \pm 0,77$	$14,98 \pm 0,33$
$\text{Na}_2\text{O}$	$0,08 \pm 0,01$	$1,88 \pm 0,05$	$1,03 \pm 0,06$
$\text{K}_2\text{O}$	$3,47 \pm 0,05$	$0,50 \pm 0,03$	$0,56 \pm 0,04$
$\text{P}_2\text{O}_5$	$0,023 \pm 0,005$	$0,20 \pm 0,01$	$1,24 \pm 0,05$

\* концентрации с суммарной стандартной неопределённостью, рассчитанной по данным ИСП-АЭС

Для статистической оценки согласованности результатов, полученных методом ИСП-АЭС, с аттестованными значениями стандартных образцов был применён критерий нормированной ошибки  $E_n$ . Полученные результаты остаются в рамках критерия приемлемости для количественного анализа, что подтверждает корректность применения разработанной методики пробоподготовки для определения макроэлементов в геологических материалах различного состава.

Определение широкого спектра микроэлементов выполнено методом ИСП-МС. Высокая чувствительность и широкий динамический диапазон метода позволили достичь пределов обнаружения (ПО) на уровне 0,001 мкг/г для большинства определяемых элементов (ПО рассчитаны как  $3s$  по результатам анализа холостых проб,  $n=10$ ). Получены средние значения концентраций 42 микроэлементов, сделанные по пяти параллельным навескам ( $n=5$ ). Данные сопоставлены с аттестованными значениями, а также с опубликованными литературными данными.

Хотя использованные стандартные образцы имеют надёжную аттестацию по макроэлементному составу, сведения по многим микроэлементам либо отсутствуют, либо представлены в качестве ориентировочных значений. Это ограничивает их применение в качестве референтных материалов для контроля качества при выполнении мультиэлементного анализа. Для решения современных геологических и геохимических задач, однако, необходимы достоверные данные по широкому спектру элементов, включая редкие и рассеянные.

Для стандартного образца ССЛ-1 полученные результаты определения элементов, имеющих аттестованные значения, хорошо согласуются с паспортными данными. Поскольку для большинства РЗЭ (за исключением Се, Yb и Lu), а также для Hf, Ta, W и Tl аттестованные значения отсутствуют, их концентрации сопоставляли с опубликованными данными [12]. Относительное расхождение по этим элементам не превышало 25%. Для кадмия и сурьмы опубликованные справочные данные отсутствуют; полученные в настоящей работе значения приводятся впервые. Корректность работы методики для данной матрицы дополнительно подтверждена анализом стандартного образца сравнения СЧС-1 (ГСО № 8549-04, Россия).

Для стандартного образца СДО-3 результаты определения элементов методом ИСП-МС с установленными аттестованными значениями демонстрируют удовлетворительное согласие с паспортными данными; исключение составляет олово (Sn), по которому наблюдалось значимое расхождение. Полученные концентрации редкоземельных элементов согласуются с литературными данными, полученными другими методами [13]. Валидацию методики анализа для карбонатных отложений дополнительно подтвердили путём анализа стандартного образца сравнения МАГ-1 (Геологическая служба США).

Для стандартного образца железомарганцевой конкреции NOD-A-1 проведено сравнение полученных данных с аттестованными значениями и литературными данными, полученными ранее методом ИСП-МС [14]. Для всех определяемых элементов относительное расхождение между полученными и референтными значениями не превышает установленных критериев приемлемости для количественного анализа, что подтверждает корректность работы предлагаемой методики для данной сложной матрицы, обогащённой железом и марганцем.

### **Выводы**

Разработан и валидирован новый метод пробоподготовки силикатных и карбонатных горных пород для последующего элементного анализа. Метод основан на полном разложении навески смесью сульфата  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  и бифторида  $(\text{NH}_4\text{HF}_2)$  аммония при нагревании до 350 °С с последующим растворением продуктов реакции в разбавленной азотной кислоте. Эффективность метода подтверждена на стандартных

образцах различного генезиса и состава: метаморфическом сланце (ССЛ-1), известковом иле (СДО- 3) и железомарганцевой конкреции (NOD-A-1).

Элементный анализ полученных растворов выполняли методами атомно-эмиссионной и масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-АЭС и ИСП-МС). Установлено, что результаты определения макро- и микроэлементов статистически значимо не отличаются от их аттестованных значений.

Механизм разложения включает фторирование матрицы породы бифторидом аммония с последующим превращением труднодоступных фторидов (Ca, Mg, РЗЭ) в хорошо растворимые сульфаты в присутствии  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ .

Метод позволяет определять широкий спектр элементов, включая труднопереводимые в раствор (Li, Zr, Nb, Hf, Ta, РЗЭ). Впервые определены концентрации Cd, Sb, Cs, Hf, Ta, W, Tl в исследованных стандартных образцах, для которых отсутствуют аттестованные данные.

Показано, что предложенная методика превосходит традиционное кислотное разложение и сплавление с боратами лития по полноте вскрытия пробы, сокращению числа стадий и минимизации матричных эффектов. Метод рекомендован для рутинной пробоподготовки геологических материалов при мультиэлементном анализе.

*Аналитическая часть работы выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (грант РФФ 23-17-00093), химическая часть выполнена в рамках финансирования государственного задания ФГБУН Института химии ДВО РАН, тема FWFN-2025-0005.*

### **Источники**

- 1 Zhong Y., Ji M., Hu Y., Li G., Xiao X. Progress of environmental sample preparation for elemental analysis // J. Chromatogr. A. – 2022. – V. 1681 – Article 463458.
- 2 Zhang W., Hu Z. Recent advances in sample preparation methods for elemental and isotopic analysis of geological samples // Spectrochim. Acta. Part B. – 2019. – V.160. – Article 105690.
- 3 Whitty-Léveillé L., Turgeon K., Bazin C., Larivière D. A Comparative study of sample dissolution techniques and plasma-based instruments for the precise and accurate quantification of REEs in mineral matrices // Anal. Chim. Acta – 2017. – Article 961. – P. 33-41.
- 4 Balaram V., Subramanyam K.S.V. Sample preparation for geochemical analysis: Strategies and significance // Advances in Sample Preparation. – 2022. – V. 1. – Article 100010.
- 5 Bokhari S.N.H., Meisel T.C. Method development and optimisation of sodium peroxide sintering for geological samples // Geostand. Geoanal. Res. – 2016. – V. 41. – N 2. – P. 181-195.
- 6 Khanchuk A.I., Molchanov V.P., Blokhin M.G., Medkov M.A. Approaches to the development of analytical methods and a technology for the extraction of useful components from graphite-bearing rocks // Theor. Found. Chem. Eng. – 2015. – V. 49. – N 4. – P. 573-579.
- 7 Ясныгина Т.А., Маркова М.Е., Рассказов С.В., Пахомова Н.Н. Определение редкоземельных элементов, Y, Zr, Nb, Hf, Ta, Th в стандартных образцах серии ДВ методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой // Завод. лаб. Диагн. матер. – 2015. – Т. 81. – № 2. – С. 10-20.
- 8 O'Hara M.J., Kellogg C.M., Parker C.M., Morrison S.S., Corbey J.F., Grate J.W. Decomposition of diverse solid inorganic matrices with molten ammonium bifluoride salt for constituent elemental analysis // Chem. Geol. – 2017. – V. 466. – N 5. – P. 341-351.
- 9 Zhang W., Hu Z., Liu Y., Chen H., Gao S., Gaschnig R.M. Total rock dissolution using ammonium bifluoride  $(\text{NH}_4\text{HF}_2)$  in screw-top teflon vials: a new development in open-

- vessel digestion // *Anal. Chem.* – 2012. – V. 84. – N 24. – P. 10686-10693.
- 10 Kagami S., Yokoyama T. Simultaneous Determination of Insoluble Fluoride-Forming and High Field-Strength Element Abundances in Rock Samples by ICP-QMS through Isotope Dilution-Internal Standardisation // *Geostand. Geoanal. Res.* – 2021. – V. 45. – N. 4. – P. 679-699.
  - 11 Krisenko G.F., Zarubina N.V., Dmitrieva E.E., Blokhin M.G., Molchanov V.P., Medkov M.A. Rock Digestion Using an Ammonium Sulfate and Ammonium Bifluoride Mixture for Element Analysis // *Inorganic Materials: Applied Research.* 2024. – V. 15. – N. 6. – P. 1614-1624.
  - 12 Мысовская И.Н., Смирнова Е.В., Ложкин В.И., Пахомова Н.Н. Новые данные по определению редких и рассеянных элементов в геологических стандартных образцах методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой // *Завод. лаб. Диагн. матер.* 2009. Т.75. № 75.С. 60-67.
  - 13 Бычкова Я.В., Стародымова Д.П., Шайхутдинова К.В., Дягилева Д.Р., Семернин М.А., Декунова Е.М., Николаева И.Ю., Бычков А.Ю. Особенности химической подготовки проб донных отложений для мультиэлементного анализа методом ИСП-МС.// *Вестн. Моск. ун-та. Серия. 4. Геология.* - 2020. - № 4. - С. 45-54.
  - 14 Axelsson M.D., Rodushkin I., Ingri J., Öhlander B. Multielemental analysis of Mn-Fe nodules by ICP-MS: optimisation of analytical method // *Analyst.* – 2002. – V. 127. – P. 76-82.

УДК 681.3.068; 004.942

## АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ФОРМИРОВАНИЕ ОПЕРАЦИОННЫХ ПРАВИЛ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ КОКСОВАНИЯ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО КОКСА ЗАДАННОГО КАЧЕСТВА

Некрасов И.С., Бухтояров В.В., Городов А.А., Тынченко В.С.

*Сибирский федеральный университет, г. Красноярск, Россия*

Современный этап цифровизации горно-металлургического комплекса характеризуется переходом от создания изолированных расчетных моделей к построению комплексных цифровых двойников, способных не только описывать, но и оптимизировать технологические процессы в режиме реального времени. Нефтяной кокс является критически важным компонентом для алюминиевой промышленности (производство анодов) и электрометаллургии (изготовление графитированных электродов), что определяет высокую актуальность задачи управления его качеством для горно-металлургического комплекса в целом.

В существующей промышленной практике планирование режимов коксования часто опирается на опыт технологов и нормативные документы, что при изменении качества сырья может приводить к длительным периодам подбора оптимальных параметров и выпуску некондиционных партий. Применение методов анализа данных и искусственного интеллекта, в частности деревьев решений, представляет собой мощный практический инструмент для формализации скрытых закономерностей и создания систем поддержки принятия решений.

Целью работы является разработка и апробация методики автоматического формирования операционных технологических правил для управления качеством нефтяного кокса на основе алгоритмов деревьев решений. Основные задачи включают: формализацию целевых сценариев качества продукта; построение и валидацию моделей деревьев решений для бинарной классификации; извлечение набора интерпретируемых технологических правил типа «если-то»; оценку их практической точности и применимости.

На основе исторических данных промышленной установки замедленного коксования были формализованы два ключевых целевых сценария: «Низкосернистый кокс» (содержание серы менее 2,0% при прочности более 12 МПа) и «Высокопрочный кокс» (прочность более 18 МПа при стандартной пористости). Для каждого сценария построены компактные деревья решений с ограничением глубины для обеспечения интерпретируемости.

Сравнительные метрики эффективности полученных деревьев решений для целевых сценариев представлены в таблице 1.

**Таблица 1 – Сравнительные метрики эффективности полученных деревьев решений для целевых сценариев**

Технологический сценарий	Общая точность (Accuracy)	Точность определения целевого сценария (Precision)	Полнота (Recall)	F1-Score
«Низкосернистый кокс»	0,92	0,90	0,92	0,91
«Высокопрочный кокс»	0,96	0,94	0,96	0,95

Результаты валидации на независимой тестовой выборке (30% данных) показали высокую эффективность моделей: для сценария «Низкосернистый кокс» общая точность составила 92% (F1-score 0,91), для сценария «Высокопрочный кокс» — 96% (F1-score 0,95). Ключевыми управляющими факторами были определены содержание серы в сырье и максимальная температура цикла (для первого сценария), а также давление в колонне коксования (для второго).

Из структуры деревьев извлечены полные «карты решений», включающие как правила достижения целевых состояний, так и условия, гарантированно ведущие к неудаче. Фрагмент набора таких технологических правил, извлечённый из «карты решений» представлен в таблице 2.

**Таблица 2 – Фрагмент набора операционных технологических правил, извлеченных из деревьев решений**

Сценарий	Тип правила	Логическое условие (ЕСЛИ...)	Тогда вывод	Технологическая интерпретация
Низкосернистый кокс	Достижение	Сера в сырье $\leq 2.5\%$ И Макс. температура $> 490^{\circ}\text{C}$	Целевой сценарий достижим (вер. $\sim 90\%$ )	Даже при умеренном содержании серы в сырье цель достигается за счет высокой термической обработки.
	Достижение	Сера в сырье $\leq 0.97\%$ И Коксуемость сырья $\leq 16.8\%$	Целевой сценарий достижим (вер. $\sim 95\%$ )	При использовании высококачественного малосернистого сырья с умеренной коксуемостью жесткие температурные требования не критичны.
	Избегание	Сера в сырье $> 2.5\%$	Целевой сценарий НЕ достижим (вер. $\sim 99\%$ )	Высокосернистое сырье является непреодолимым ограничением для получения малосернистого кокса.
	Избегание	Сера в сырье $\leq 2.5\%$ И Макс. температура $\leq 490^{\circ}\text{C}$ И Сера в сырье $> 0.97\%$	Целевой сценарий НЕ достижим (вер. $\sim 96\%$ )	Комбинация сырья среднего качества и недостаточной температуры ведет к неудаче.
Высокопрочный кокс	Достижение	Давление в колонне $\leq 2.25$ бар	Целевой сценарий достижим (вер. $\sim 98\%$ )	Низкое давление — наиболее эффективный и контролируемый фактор получения высокопрочного кокса.
	Достижение	Давление $> 2.25$ бар И Сера в сырье $> 4.32\%$ И Скорость нагрева $> 29.4^{\circ}\text{C}/\text{ч}$	Целевой сценарий достижим (вер. $\sim 85\%$ )	Рисковый путь: при повышенном давлении прочность может быть достигнута только на высокосернистом сырье при очень высокой скорости нагрева.
	Избегание	Давление $> 2.25$ бар И Сера в сырье $\leq 4.32\%$	Целевой сценарий НЕ достижим (вер. $\sim 100\%$ )	Повышенное давление в сочетании с низко- или среднесернистым сырьем гарантированно не дает высокой прочности.
	Избегание	Давление $> 2.25$ бар И Сера в сырье $> 4.32\%$ И Скорость нагрева $\leq 29.4^{\circ}\text{C}/\text{ч}$	Целевой сценарий НЕ достижим (вер. $\sim 94\%$ )	Недостаточная скорость нагрева блокирует возможность компенсации высокого давления сернистым сырьем.

Например, для получения низкосернистого кокса при содержании серы в сырье  $\leq 2,5\%$  и максимальной температуре  $> 490^\circ\text{C}$  вероятность успеха составляет  $\sim 90\%$ . Для высокопрочного кокса ключевым является поддержание давления в колонне  $\leq 2,25$  бар (вероятность  $\sim 98\%$ ).

Практическая значимость работы для горно-металлургического комплекса состоит в создании инструмента, позволяющего технологу на этапе планирования оценить достижимость целевого качества кокса и выбрать соответствующие управляющие воздействия. Это особенно важно для производства анодной продукции алюминиевой промышленности и электродов сталеплавильных производств. Разработанный подход формализует экспертные знания в виде логических правил и создает основу для системы поддержки принятия решений в составе цифрового двойника, замыкая контур «прогноз – правило – действие».

*Исследование выполнено при поддержке РНФ и ККФН (проект № 25-19-20154).*

### **Источники**

- 1 Ge Z., Song Z., Gao F. Review of recent research on data-based process monitoring // Ind. Eng. Chem. Res. – 2013. – Vol. 52, № 10. – P. 3543-3562.
- 2 Tian L., Shen B., Liu J. A delayed coking model built using the structure-oriented lumping method // Energy Fuels. – 2012. – Vol. 26, № 3. – P. 1715–1724.
- 3 Ancheyta J. Modeling of processes and reactors for upgrading of heavy petroleum. – Boca Raton: CRC Press, 2013. – 524 p.
- 4 Кулиев Э.В., Семенов В.А., Котельва А.В., Игнатъева С.В. Аналитический обзор алгоритма дерева решений в технологии интеллектуального анализа данных // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2022. – № 2(226). – С. 165-179.
- 5 Yang M.L., Long J., Fan C., Zhong W.M. Industrial delayed coking process optimization on the basis of lumped kinetic model // Pet. Sci. Technol. – 2016. – Vol. 34, № 10. – P. 898-902.

УДК 622:669:004.8

## ИНТЕГРАЦИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ПРОЦЕССЫ ПРЕДПРИЯТИЙ ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА

Сарбасова А.Ә.

*НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет имени С.Сейфуллина»,  
г. Астана, Казахстан*

**Цель исследования** – разработка подхода к интеграции технологий искусственного интеллекта в процессы предприятий горно-металлургического комплекса. Рассмотрены ключевые направления применения ИИ и выявлены факторы, влияющие на интеграцию. Предложена концептуальная модель поэтапного внедрения интеллектуальных решений в производственные и управленческие процессы, включая управление технологическими режимами, предиктивное обслуживание оборудования, контроль качества продукции и мониторинг безопасности. Интеграция ИИ позволяет повысить эффективность, безопасность и адаптивность предприятий ГМК [1-4].

**Ключевые слова:** искусственный интеллект, интеграция, процессы предприятий ГМК, цифровизация, Industry 4.0.

Горно-металлургический комплекс является одной из базовых отраслей экономики и играет ключевую роль в формировании промышленного потенциала страны [1]. Современные предприятия ГМК функционируют в условиях усложнения технологических процессов, роста требований к экологической безопасности и необходимости повышения эффективности использования ресурсов, что обуславливает актуальность внедрения интеллектуальных цифровых решений [2, 3].

Интеграция искусственного интеллекта в процессы предприятий горно-металлургического комплекса рассматривается как одно из ключевых направлений технологического развития отрасли. В отличие от традиционных систем автоматизации, ИИ-решения обеспечивают обработку больших объёмов данных, прогнозирование технологических параметров и поддержку принятия управленческих решений в реальном времени [4, 5].

В рамках исследования выделены процессы с наибольшим потенциалом для интеграции ИИ: управление технологическими режимами, предиктивное техническое обслуживание оборудования, контроль качества продукции и мониторинг промышленной безопасности. Для этих процессов предложен поэтапный подход, включающий анализ и подготовку данных, выбор и обучение моделей ИИ, их внедрение в цифровую инфраструктуру предприятия и оценку результатов функционирования [2,4].

Результаты исследования заключаются в разработке концептуальной модели интеграции ИИ в процессы предприятий ГМК, обеспечивающей согласование интеллектуальных решений с существующими производственными и управленческими системами. Реализация модели позволяет повысить точность прогнозирования, снизить технологические риски и обеспечить адаптивность процессов к изменяющимся условиям функционирования [5-7].

В заключение отмечается, что предложенный подход к интеграции искусственного интеллекта может быть использован в качестве методической основы для внедрения ИИ-решений на предприятиях ГМК и способствует формированию устойчивых и интеллектуально ориентированных производственных систем [1-7].

**Источники**

- 1 Schwab K. The Fourth Industrial Revolution. Geneva: World Economic Forum, 2016.
- 2 Kagermann H., Wahlster W., Helbig J. Recommendations for Implementing the Strategic Initiative INDUSTRIE 4.0. Berlin, 2013.
- 3 Brynjolfsson E., McAfee A. The Second Machine Age: Work, Progress, and Prosperity in a Time of Brilliant Technologies. New York: W.W. Norton & Company, 2014.
- 4 Vial G. Understanding Digital Transformation. MIS Quarterly, 2019, Vol. 43(1), pp. 1-34.
- 5 Russell S., Norvig P. Artificial Intelligence: A Modern Approach. Pearson, 2021.
- 6 Marr B. Big Data in Practice: How 45 Successful Companies Used Big Data Analytics to Deliver Extraordinary Results. Wiley, 2016.
- 7 Государственная программа «Цифровой Казахстан». [Электронный ресурс]. URL: <https://digitalkazakhstan.kz>

УДК 622; 504

## ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В РЕШЕНИИ ВОПРОСОВ ПОВЫШЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГЕОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ НА ОТКРЫТЫХ РАЗРАБОТКАХ

Теменова А.Т.<sup>1</sup>, Галиев С.Ж.<sup>2</sup>, Утешов Е.Т.<sup>2</sup>, Галиев Д.А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Satbayev University, г. Алматы, Казахстан,*

<sup>2</sup>*Филиал РГП «НЦ КИМС» «ИГД им. Д.А. Кунаева», г. Алматы, Казахстан*

**Ключевые слова:** экологические выбросы, геотехнологический комплекс, открытая разработка, карьерный транспорт, эффективность, цифровизация, информационные технологии, технологическая модернизация.

**Актуальность.** В Казахстане тема развития цифровых технологий в решении вопросов повышения экологической эффективности геотехнологических комплексов на открытых разработках является актуальной и соответствует государственным приоритетам в области цифровизации и устойчивого развития горнодобывающей отрасли. Казахстан активно реализует государственные программы по цифровизации, такие как "Цифровой Казахстан", Концепция цифровой трансформации на 2023-2029 годы и т.д. Эти программы направлены на модернизацию отраслей экономики, включая горнодобывающую, являющуюся ключевым сектором экономики Казахстана, с целью повышения общего потенциала развития и улучшения качества жизни населения. В условиях глобальных трендов и ужесточения экологических стандартов, особенно при работе со странами ЕС, компании осознают необходимость внедрения цифровых технологий для повышения экологической эффективности [1-3]. Это включает автоматизацию, роботизацию, использование искусственного интеллекта и промышленного интернета вещей.

Сегодня экологическая повестка в Казахстане связана со стремлением к достижению углеродной нейтральности к 2060 году, что требует внедрения "зеленых" технологий и минимизации воздействия на окружающую среду. Цифровые технологии играют важную роль в мониторинге и контроле выбросов, управлении водными ресурсами и переработке отходов. Это стимулирует разработку и внедрение новых цифровых решений в горнодобывающей отрасли.

Филиал РГП «Национальный центр по комплексной переработке минерального сырья Республики Казахстан» «Институт горного дела им. Д.А.Кунаева» уже почти 40 лет осуществляет научно-технические разработки в направлении создания информационно-технологической платформы для управления геотехнологическими комплексами на открытых разработках. Данная платформа интегрирует в себе аспекты оптимизации производственных процессов, включая экологический мониторинг.

Цифровые технологии могут быть применены для повышения экологической эффективности геотехнологических комплексов путем:

- оптимизации процессов, когда автоматизированные системы управления и мониторинга позволяют повышать эффективность добычи, транспортировки и переработки сырья, снижая потребление ресурсов и образование отходов;
- экологического мониторинга, предполагающего наличие автоматизированных систем онлайн-мониторинга, способных адекватно отслеживать выбросы вредных веществ, состояние воздушных бассейнов и другие экологические параметры в режиме реального времени;

- прогнозирования и предотвращения рисков, базирующихся на использовании потенциала ИИ и анализа больших данных, что позволяет прогнозировать возможные экологические инциденты и разрабатывать своевременные меры по их предотвращению;
- повышения энергоэффективности за счёт внедрения энергоэффективных технологий и возобновляемых источников энергии в горнодобывающем секторе.

Таким образом, цифровая трансформация горнодобывающей отрасли Казахстана, включая применение цифровых технологий для повышения экологической эффективности геотехнологических комплексов, является актуальным направлением, поддерживаемым государством и соответствующим глобальным тенденциям устойчивого развития.

### ***Технология системного учёта экологических выбросов геотехнологических комплексов карьеров***

Адекватный и системный учёт экологических выбросов обеспечивается базированием на применении процессного подхода в управлении геотехнологическими комплексами с использованием максимально соответствующего для этих целей метода имитационного моделирования. Предложенный подход предполагает с высокой степенью точности и пооперационно вести учёт энергорасхода (электроэнергия, дизельное топливо) основным горным и транспортным оборудованием при конкретных режимах и условиях их эксплуатации, технического состояния. Принципиально важным моментом для эффективного решения вопросов оптимизации энергорасхода и соответственно экологических выбросов является возможность экономической эффективности предлагаемых тех или иных управленческих решений. Это достигается встроенной экономической моделью в модель геотехнологического комплекса [4-9]. Основные эколого-экономические показатели, получаемые в процессе исследования, представлены в таблице 1, где обозначен весь спектр имеющихся экологических выбросов.

В таблице 1 представлены данные только по карьерным автосамосвалам, однако разработанное программно-методическое обеспечение получать и представлять в отчётах аналогичные данные по погрузочному и разгрузочному оборудованию, работающему на дизельном топливе или с использованием электрической энергии.

Одним из основных выводов по результатам проведённых на ряде карьеров Казахстана исследований является тот факт, что учёт экологических выбросов на предприятиях должен осуществляться комплексно и в рамках единой методологической базы. Это обусловлено тем, что объёмы образующихся при сжигании дизельного топлива парниковых газов и объёмы выбрасываемых экологических загрязнителей жёстко взаимосвязаны, так как являются результатами одних и тех же процессов по каждой единице горного и транспортного оборудования. Фактические соотношения зависят в первую очередь от технического состояния машин, таких как КПД двигателей. При высоких КПД, в результате более полного сжигания энергоносителей, больше образуется парниковых газов, а при низких КПД, обуславливающих не полное сгорание топлива, образуются экологические загрязнители. Данный факт предполагает рассмотрение двух этих параллельных процессов в рамках единой политики учёта экологических выбросов на предприятиях горнодобывающих отраслей промышленности, а также на государственном уровне при реализации принятой в стране Концепции низкоуглеродного развития до 2060 года. Это обуславливает необходимость корректировки и применяемых инструментов и механизмов реализации экологической политики. Применительно к предприятиям горнодобывающих отраслей это в максимальной степени является актуальным, так как большая часть экологических выбросов получается при сжигании дизельного топлива, что обусловлено преимущественным применением, особенно на открытых разработках, основного горного и транспортного оборудования, оснащённых дизельными двигателями.

**Таблица 1 – Основные эколого-экономические показатели функционирования геотехнологического комплекса карьера**

#	Экологические показатели	За смену	Средне-сменные	За период	Макс. разовые, г/с
По автосамосвалам					
<b>I Загрязняющие вещества</b>					
1	Оксид углерода CO, тонн	0,799	0,720	489,283	18,507
2	Углероды, тонн	0,240	0,216	146,785	5,552
3	Двуокись азота NO <sub>2</sub> , тонн	0,080	0,072	48,928	1,851
4	Сажа, тонн	0,120	0,108	73,392	2,776
5	Сернистый газ SO <sub>2</sub> , тонн	0,160	0,144	97,857	3,701
6	Свинец, тонн	0,002	0,001	0,979	0,037
7	Бенз(а)пирен, тонн	2,558	2,3025	0,002	5,922
<b>II Парниковые газы</b>					
8	Диоксид углерода CO <sub>2</sub> , тонн	25,184	22,665	15412,418	582,956
9	Оксид азота N <sub>2</sub> O, тонн	3,997	3,598	0,002	9,253
10	Метан CH <sub>4</sub> , тонн	7,995	7,195	0,005	0,0001
<b>III Запыление</b>					
1	По автосамосвалам, тонн	0,268	0,242	164,286	6,214
2	По пунктам погрузки, тонн	1,706	1,536	1044,336	39,501
3	По пунктам выгрузки, тонн	0,001	0,001	0,722	0,027
<b>Общие эколого-экономические показатели</b>					
1	Выбросы вредных вещества в тоннах	1,401	1,261	857,226	0
2	Выбросы парниковых газов, тонн	25,184	22,665	15412,425	0
3	Выбросы вр. веществ+ Парник. газы, тонн	26,584	23,926	16269,650	0
4	Запылённость, тонн	1,976	1,778	1209,3445	0
5	Платежи, тенге	31641,305	28477,174	19364478	0
6	Затраты на полив, тенге	48681,805	43813,625	29793264	0
7	Удельные затраты по экологическим выбросам, тг./куб.м	1,661	1,661	1,661	0

Вторым важным выводом исследований является то, что применение так называемого стационарного подхода к учёту экологических выбросов обеспечивает недоучёт объёмов или погрешность в большую сторону в среднем на 15-30% в зависимости от технического состояния, режимов и условий эксплуатации основного технологического оборудования. Эффективным решением данного вопроса является

применение динамических подходов, базирующихся на процессном управлении и соответствующей экономике.

Следующим и принципиальное значение имеющим, как показывают результаты исследования, целесообразно выделить социальный аспект. Он заключается в том, что в процессе сжигания дизельного топлива идёт активное потребление кислорода из воздуха. Судя по перечню экологических выбросов, порядка 8 молекул кислорода требуется для формирования ряда парниковых газов и экологических загрязнителей на одну молекулу углерода, азота и серы. Столь существенное снижение уровня кислорода в воздухе карьерного пространства может оказывать существенное влияние на состояние здоровья задействованного персонала в карьере. Данный вопрос требует проведения целенаправленных исследований, что позволит соответственно усилить комплекс мер по безопасности горнотранспортных работ на открытых разработках. Данный аспект необходимо отразить и в получившем в настоящее время в Казахстане и в мире подходе к ESG отчётности, усилив тем самым социальный блок методической базы.

### **Заключение**

Проведённые исследования показали необходимость и целесообразность дальнейшего развития данного направления в методическом подходе к адекватному учёту экологической эффективности функционирования геотехнологических комплексов на открытых разработках. Это требует целенаправленного и комплексного развития научно-практического потенциала работы с такими факторами процесса технологической модернизации, как цифровизация, информационные технологии, автоматизация, аналитика и управление.

Современный научно-технологический уровень развития по вопросам мониторинга, анализа, оптимизации и управления геотехнологическими комплексами демонстрирует необходимость существенного усовершенствования сложившейся на данный момент методологии и идеологии ESG отчётности на горных предприятиях по социальному вопросу и менеджменту, а также по экономической политике. По первому вопросу, это адекватный учёт экологических выбросов и качества воздуха в карьерном пространстве; по второму – качество и эффективность управления геотехнологическими комплексами, включая экологическую и технологическую политику, энергоэффективность; по третьему – целесообразность перехода к управлению и экономике на основе процессного подхода.

### **Источники**

- 1 Есекина Б.К, Галиев С.Ж, Текенова А.Т. Методологические подходы к оценке соответствия принципам ESG на предприятиях ГМК Казахстана // Проблемы экономического роста и устойчивого развития территорий: материалы IX международной науч.-практ. интернет-конференции, г. Вологда, 13–15 мая 2024 г. – Вологда: Вологодский научный центр РАН, 2024. – С. 43-47.
- 2 Галиев С.Ж, Утешов Е.Т, Галиев Д.А, Рыспеков К.Б, Наурызбаева Д. Potential for increasing the efficiency of design processes for mining the solid mineral deposits based on digitalization and advanced analytics // Журнал Днепрпетровского технологического университета «Mining of Mineral Deposits», 2021, Vol. 15, Issue 2, P. 102-110. DOI: 10.33271/mining15.02.102
- 3 Галиев С.Ж, Утешов Е.Т, Галиев Д.А, Фарахов К.А. Методическое обеспечение оценки энергоэффективности геотехнологических комплексов на открытых разработках на основе углубленной аналитики // Журнал «Eurasian mining», №2, Москва, 2021, pp. 65–69. DOI: 10.17580/em.2021.01.13

- 4 Li Benzheng, Shi Yongkui, Hao Jian, Ma Chengyun, Pang Chuming, Yang Huidi. Research on a Carbon Emission Calculation Model and Method for an Underground Fully Mechanized Mining Process // *Energies*, Basel, Switzerland: MDPI, 2022, Vol. 15, No. 8, pp. 2871–2900.
- 5 Ronalter Louis Maximilian, Bernardo Merce, Romaní Javier Manuel. Quality and Environmental Management Systems as Business Tools to Enhance ESG Performance: a Cross Regional Empirical Study // *Environment, Development and Sustainability*, Dordrecht, Netherlands: Springer, 2022 (published 2023), Vol. 25, No. 9, pp. 9067–9109.
- 6 Tleppayev A, Zeinolla S. Climate change, CO<sub>2</sub> emission, and economic development: evidence from Kazakhstan // *Central Asian Journal of Sustainability and Climate Research*, 2023, pp. 62–82. DOI: 10.29258/CAJSCR/2023-R1.v2-1/62-82
- 7 Asnani, Namita. 2022. Effectiveness of Sustainability Disclosures in the Mining and Metals Sector – a Critical Analysis. Master's thesis, Harvard University Division of Continuing Education. – P. 96.
- 8 *Environmental Science and Technology*, 46(20): 10861–10867.
- Zhang, Y.Q. 2023. Impact of green finance and environmental protection on green economic recovery in South Asian economies: Mediating role of Fintech. *Economic change and restructuring*, 56(3): 2069–2086.
- 9 Bosi, M.K., Lajuni, N., Wellfren, A.C. & Lim, T.S. 2022. Sustainability reporting through environmental, social and governance: A bibliometric review. *Sustainability (Switzerland)*. 14(19): 1-22.

Научное издание

**Интеграция современной науки, цифровых технологий,  
искусственного интеллекта и промышленного производства  
в горно-металлургическом комплексе Республики Казахстан.**

Материалы  
V Международной научно-практической конференции  
Абишевские чтения – 2026.

ISBN 978-601-08-5898-5



Компьютерная верстка к.т.н. **Стукалова Н.Г.**

# ПАРТНЕРЫ МЕРОПРИЯТИЯ



МИНИСТЕРСТВО ПРОМЫШЛЕННОСТИ И  
СТРОИТЕЛЬСТВА РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН



АСТАНИНСКИЙ ФИЛИАЛ  
РГП «НЦ КПКМС РК»

РГП «Национальный центр по комплексной переработке  
минерального сырья Республики Казахстан»

г. Алматы, ул.Жандосова, 67

8 (727) 259 00 70  
nc@cmrp.kz

АЛМАТЫ

