

ISSN 2518-1491 (Online),  
ISSN 2224-5286 (Print)



«ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ  
ҰЛТТЫҚ ҒЫЛЫМ  
АКАДЕМИЯСЫ» РҚБ

«ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ  
ҰЛТТЫҚ ҒЫЛЫМ АКАДЕМИЯСЫ» РҚБ

# Х А Б А Р Л А Р Ы

---

---

## ИЗВЕСТИЯ

РОО «НАЦИОНАЛЬНОЙ  
АКАДЕМИИ НАУК РЕСПУБЛИКИ  
КАЗАХСТАН»

## N E W S

OF THE ACADEMY OF SCIENCES  
OF THE REPUBLIC OF  
KAZAKHSTAN

**SERIES**  
**CHEMISTRY AND TECHNOLOGY**

**3 (460)**

**JULY – SEPTEMBER 2024**

PUBLISHED SINCE JANUARY 1947

PUBLISHED 4 TIMES A YEAR

ALMATY, NAS RK

### **Бас редактор:**

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

### **Редакция алқасы:**

**ӘДЕКЕНОВ Серғазы Мынжасарұлы** (бас редактордың орынбасары), химия ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, «Фитохимия» Халықаралық ғылыми-өндірістік холдингінің директоры (Қарағанды, Қазақстан) Н = 11

**АГАБЕКОВ Владимир Енокович** (бас редактордың орынбасары), химия ғылымдарының докторы, профессор, Беларусь ҰҒА академигі, Жаңа материалдар химиясы институтының құрметті директоры (Минск, Беларусь) Н = 13

**СТРНАД Мирослав**, профессор, Чехия ғылым академиясының Эксперименттік ботаника институтының зертхана меңгерушісі (Оломоуц, Чехия) Н = 66

**БҮРКІТБАЕВ Мұхамбетқали**, химия ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, әл-Фараби атындағы ҚазҰУ-дың бірінші проректоры (Алматы, Қазақстан) Н = 11

**ХОХМАНН Джудит**, Сегед университетінің Фармацевтика факультетінің Фармакогнозия кафедрасының меңгерушісі, Жаратылыстану ғылымдарының пәнаралық орталығының директоры (Сегед, Венгрия) Н = 38

**РОСС Самир, PhD докторы**, Миссисипи университетінің Өсімдік өнімдерін ғылыми зерттеу ұлттық орталығы, Фармация мектебінің профессоры (Оксфорд, АҚШ) Н = 35

**ХУТОРЯНСКИЙ Виталий**, философия докторы (PhD, фармацевт), Рединг университетінің профессоры (Рединг, Англия) Н = 40

**ТЕЛТАЕВ Бағдат Бұрханбайұлы**, техника ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА корреспондент-мүшесі, Қазақстан Республикасы Индустрия және инфрақұрылымдық даму министрлігі (Алматы, Қазақстан) Н = 13

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

**ФАЗЫЛОВ Серік Драхметұлы**, химия ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, Органикалық синтез және көмір химиясы институты директорының ғылыми жұмыстар жөніндегі орынбасары (Қарағанды, Қазақстан) Н = 6

**ЖОРОБЕКОВА Шарипа Жоробекқызы**, химия ғылымдарының докторы, профессор, Қырғызстан ҰҒА академигі, ҚР ҰҒА Химия және химиялық технология институты (Бішкек, Қырғызстан) Н = 4

**ХАЛИКОВ Джурабай Халикович**, химия ғылымдарының докторы, профессор, Тәжікстан ҒА академигі, В.И. Никитин атындағы Химия институты (Душанбе, Тәжікстан) Н = 6

**ФАРЗАЛИЕВ Вагиф Меджидоглы**, химия ғылымдарының докторы, профессор, ҰҒА академигі (Баку, Әзірбайжан) Н = 13

**ГАРЕЛИК Хемда**, философия докторы (PhD, химия), Халықаралық таза және қолданбалы химия одағының Химия және қоршаған орта бөлімінің президенті (Лондон, Англия) Н = 15

### **«ҚР ҰҒА Хабарлары. Химия және технология сериясы»**

**ISSN 2518-1491 (Online),**

**ISSN 2224-5286 (Print)**

Меншіктенуші: «Қазақстан Республикасының Ұлттық ғылым академиясы» РҚБ (Алматы қ.). Қазақстан Республикасының Ақпарат және қоғамдық даму министрлігінің Ақпарат комитетінде 29.07.2020 ж. берілген № **KZ66VPU00025419** мерзімдік басылым тіркеуіне қойылу туралы куәлік.

Тақырыптық бағыты: *органикалық химия, бейорганикалық химия, катализ, электрохимия және коррозия, фармацевтикалық химия және технологиялар.*

Мерзімділігі: жылына 4 рет.

Тиражы: 300 дана.

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

<http://chemistry-technology.kz/index.php/en/archiv>

© Қазақстан Республикасының Ұлттық ғылым академиясы РҚБ, 2024

Редакцияның мекенжайы: 050100, Алматы қ., Қонаев к-сі, 142, «Д.В. Сокольский атындағы отын, катализ және электрохимия институты» АҚ, каб. 310, тел. 291-62-80, факс 291-57-22, e-mail: [orgcat@nursat.kz](mailto:orgcat@nursat.kz)

### Главный редактор:

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

### Редакционная коллегия:

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

**АГАБЕКОВ В ладимир Енокович** (заместитель главного редактора), доктор химических наук, профессор, академик НАН Беларуси, почетный директор Института химии новых материалов (Минск, Беларусь) Н = 13

**СТРНАД Мирослав, профессор**, заведующий лабораторией института Экспериментальной ботаники Чешской академии наук (Оломоуц, Чехия) Н = 66

**БУРКИТБАЕВ Мухамбеткали**, доктор химических наук, профессор, академик НАН РК, Первый проректор КазНУ имени аль-Фараби (Алматы, Казахстан) Н = 11

**ХОХМАНН Джудит**, заведующий кафедрой Фармакогнозии Фармацевтического факультета Университета Сегеда, директор Междисциплинарного центра естественных наук (Сегед, Венгрия) Н = 38

**РОСС Самир**, доктор PhD, профессор Школы Фармации национального центра научных исследований растительных продуктов Университета Миссисипи (Оксфорд, США) Н = 35

**ХУТОРЯНСКИЙ Виталий**, доктор философии (Ph.D, фармацевт), профессор Университета Рединга (Рединг, Англия) Н = 40

**ТЕЛЬГАЕВ Багдат Бурханбайулы**, доктор технических наук, профессор, член-корреспондент НАН РК, Министерство Индустрии и инфраструктурного развития Республики Казахстан (Алматы, Казахстан) Н = 13

**ФАРУК Асана Дар**, профессор колледжа Восточной медицины Хамдарда аль-Маджида, факультет Восточной медицины университета Хамдарда (Карачи, Пакистан) Н = 21

**ФАЗЫЛОВ Серик Драхметович**, доктор химических наук, профессор, академик НАН РК, заместитель директора по научной работе Института органического синтеза и углехимии (Караганда, Казахстан) Н = 6

**ЖОРОБЕКОВА Шарипа Жоробековна**, доктор химических наук, профессор, академик НАН Кыргызстана, Институт химии и химической технологии НАН КР (Бишкек, Кыргызстан) Н = 4

**ХАЛИКОВ Джурабай Халикович**, доктор химических наук, профессор, академик АН Таджикистана, Институт химии имени В.И. Никитина АН РТ (Душанбе, Таджикистан) Н = 6

**ФАРЗАЛИЕВ Вагиф Меджид оглы**, доктор химических наук, профессор, академик НАНА (Баку, Азербайджан) Н = 13

**ГАРЕЛИК Хемда**, доктор философии (Ph.D, химия), президент Отдела химии и окружающей среды Международного союза чистой и прикладной химии (Лондон, Англия) Н = 15

«Известия НАН РК. Серия химии и технологий».

ISSN 2518-1491 (Online),

ISSN 2224-5286 (Print)

Собственник: Республиканское общественное объединение «Национальная академия наук Республики Казахстан» (г. Алматы).

Свидетельство о постановке на учет периодического печатного издания в Комитете информации Министерства информации и общественного развития Республики Казахстан № KZ66VPY00025419, выданное 29.07.2020 г.

Тематическая направленность: *органическая химия, неорганическая химия, катализ, электрохимия и коррозия, фармацевтическая химия и технологии.*

Периодичность: 4 раз в год.

Тираж: 300 экземпляров.

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

<http://chemistry-technology.kz/index.php/en/arithv>

© РОО Национальная академия наук Республики Казахстан, 2024

Адрес редакции: 050100, г. Алматы, ул. Кунаева, 142, АО «Институт топлива, катализа и электрохимии им. Д.В. Сокольского», каб. 310, тел. 291-62-80, факс 291-57-22, e-mail: [orgcat@nursat.kz](mailto:orgcat@nursat.kz)

#### **Editor in chief:**

**ZHURINOV Murat Zhurinovich**, doctor of chemistry, professor, academician of NAS RK, president of NAS RK, general director of JSC "Institute of fuel, catalysis and electrochemistry named after D.V. Sokolsky (Almaty, Kazakhstan) H = 4

#### **Editorial board:**

**ADEKENOV Sergazy Mynzhasarovich** (deputy editor-in-chief) doctor of chemical sciences, professor, academician of NAS RK, director of the international Scientific and production holding «Phytochemistry» (Karaganda, Kazakhstan) H = 11

**AGABEKOV Vladimir Enokovich** (deputy editor-in-chief), doctor of chemistry, professor, academician of NAS of Belarus, honorary director of the Institute of Chemistry of new materials (Minsk, Belarus) H = 13

**STRNAD Miroslav**, head of the laboratory of the institute of Experimental Botany of the Czech academy of sciences, professor (Olomouc, Czech Republic) H = 66

**BURKITBAYEV Mukhambetkali**, doctor of chemistry, professor, academician of NAS RK, first vice-rector of al-Farabi KazNU (Almaty, Kazakhstan) H = 11

**HOHMANN Judith**, head of the department of pharmacognosy, faculty of Pharmacy, university of Szeged, director of the interdisciplinary center for Life sciences (Szeged, Hungary) H = 38

**ROSS Samir, Ph.D.**, professor, school of Pharmacy, national center for scientific research of Herbal Products, University of Mississippi (Oxford, USA) H = 35

**KHUTORYANSKY Vitaly, Ph.D.**, pharmacist, professor at the University of Reading (Reading, England) H = 40

**TELTAYEV Bagdat Burkhanbayuly**, doctor of technical sciences, professor, corresponding member of NAS RK, ministry of Industry and infrastructure development of the Republic of Kazakhstan (Almaty, Kazakhstan) H = 13

**PHARUK Asana Dar**, professor at Hamdard al-Majid college of Oriental medicine. faculty of Oriental medicine, Hamdard university (Karachi, Pakistan) H = 21

**FAZYLOV Serik Drakhmetovich**, doctor of chemistry, professor, academician of NAS RK, deputy director for institute of Organic synthesis and coal chemistry (Karaganda, Kazakhstan) H = 6

**ZHOROBEKOVA Sharipa Zhorobekovna**, doctor of chemistry, professor, academician of NAS of Kyrgyzstan, Institute of Chemistry and chemical technology of NAS KR (Bishkek, Kyrgyzstan) H = 4

**KHALIKOV Jurabay Khalikovich**, doctor of chemistry, professor, academician of the academy of sciences of Tajikistan, institute of Chemistry named after V.I. Nikitin AS RT (Tajikistan) H = 6

**FARZALIEV Vagif Medzhid ogly**, doctor of chemistry, professor, academician of NAS of Azerbaijan (Azerbaijan) H = 13

**GARELIK Hemda**, PhD in chemistry, president of the department of Chemistry and Environment of the International Union of Pure and Applied Chemistry (London, England) H = 15

**News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of chemistry and technology.**

**ISSN 2518-1491 (Online),**

**ISSN 2224-5286 (Print)**

Owner: RPA «National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan» (Almaty).

The certificate of registration of a periodical printed publication in the Committee of information of the Ministry of Information and Social Development of the Republic of Kazakhstan No. **KZ66VPY00025419**, issued 29.07.2020.

Thematic scope: *organic chemistry, inorganic chemistry, catalysis, electrochemistry and corrosion, pharmaceutical chemistry and technology.*

Periodicity: 4 times a year.

Circulation: 300 copies.

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

<http://chemistry-technology.kz/index.php/en/arhiv>

© National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, 2024

Editorial address: JSC «D.V. Sokolsky institute of fuel, catalysis and electrochemistry», 142, Kunayev str., of. 310, Almaty, 050100, tel. 291-62-80, fax 291-57-22, e-mail: [orgcat@nursat.kz](mailto:orgcat@nursat.kz)

NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN  
SERIES CHEMISTRY AND TECHNOLOGY

ISSN 2224–5286

Volume 3, Number 460 (2024), 5–26

<https://doi.org/10.32014/2024.2518-1491.233>

UDC 669.2.02/.09

MRNTI 53.37.13

**K.Sh. Akhmetova, B.K. Kenzhaliev, S.V. Gladyshev\*, N.K. Akhmadieva,  
L.M. Imangalieva, 2024.**

Satbayev University, JSC” Institute of metallurgy and ore dressing”,  
Almaty, Kazakhstan.

E-mail: [gladyshev.sergey55@mail.ru](mailto:gladyshev.sergey55@mail.ru)

## GLOBAL INNOVATIONS IN EXTRACTIVE METALLURGY OF TITANIUM

**Akhmetova Kuralay Shakenovna** – Candidate of technical sciences, Leading Researcher at the laboratory of alumina and aluminum, Satbayev University. JSC Institute of Metallurgy and Ore Benefication, Almaty, Kazakhstan, E-mail: [kuralai-1950@mail.ru](mailto:kuralai-1950@mail.ru) , <https://orcid.org/0000-0002-8725-8105>;

**Kenzhaliev Bagdaulet Kenzhalievich** – Doctor of technical sciences, professor, director, Satbayev University. JSC Institute of Metallurgy and Ore Benefication, Almaty, Kazakhstan, E-mail: [bagdaulet\\_k@mail.ru](mailto:bagdaulet_k@mail.ru) , <https://orcid.org/0000-0003-1474-8354>;

**Gladyshev Sergey Vladilenovich** – Candidate of technical sciences, Leading researcher of the laboratory of Alumina and Aluminum, Satbayev University. JSC Institute of Metallurgy and Ore Benefication, Almaty, Kazakhstan. Candidate of technical sciences, Leading researcher at the Laboratory of alumina and aluminum, Satbayev University, JSC Institute of Metallurgy and Enrichment, Almaty, Kazakhstan, E-mail: [gladyshev.sergey55@mail.ru](mailto:gladyshev.sergey55@mail.ru) , <https://orcid.org/0000-0002-4939-7323>;

**Akhmadieva Nazim Kanatovna** – PhD, Researcher at the laboratory of alumina and aluminum, Satbayev University. JSC Institute of Metallurgy and Ore Benefication, Almaty, Kazakhstan, E-mail: [naz-anak@inbox.ru](mailto:naz-anak@inbox.ru) , <https://orcid.org/0000-0003-3154-9816>;

**Imangalieva Leila Manarbekovna** – Master of technical sciences, Junior Researcher at the Laboratory of alumina and aluminum Satbayev University. JSC Institute of Metallurgy and Ore Benefication, Almaty, Kazakhstan, E-mail: [leila.imangalieva@mail.ru](mailto:leila.imangalieva@mail.ru) , <https://orcid.org/0000-0002-0159-9970>.

**Abstract.** An analytical review of the world market and world resources of titanium, methods of processing difficult-to-process ilmenite concentrates with a very complex material composition, and the achievements of world manufacturers of high-tech titanium products are presented. The results of the activities of the Australian company Austpac Resources, which created the best, preferably used, universal technology for the production of high-purity synthetic rutile from ilmenite sand concentrates, are highlighted; the Canadian company QIT-Fer & Titane Inc., which has developed a technology for the production of modified titanium slag, comparable in quality to synthetic rutile, smelted from a hemoilmenite concentrate poor in titanium dioxide with a high content of closely associated gangue minerals of the host anorthosite rock

and interspersed with isomorphic impurities of many siderophile microelements; the South African company Richards Bay Minerals, which supplies the market with 85% titanium slag and 94% synthetic rutile obtained by processing high-chromium fine sand dune ilmenite using adapted technology from the Canadian company QIT; The Ust-Kamenogorsk titanium-magnesium plant of Kazakhstan provides the production of titanium sponge, titanium ingots and alloys for aerospace purposes by one-stage reduction smelting of a coal charge mixture of low- and high-grade ilmenite concentrates. The successes of scientific organizations in solving current problems related to reducing the cost of production of titanium pigments and titanium metal, expanding the raw material base of valuable metal and improving the environment are reflected.

**Key words:** ilmenite concentrate, pyro- and hydrometallurgical processes, synthetic rutile, titanium slag, cast iron, titanium sponge, titanium ingots and alloys.

**К.Ш. Ахметова, Б.К. Кенжалиев, С.В. Гладышев\*, Н.К. Ахмадиева,  
Л.М. Имангалиева**

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

\* E-mail: gladyshev.sergey55@mail.ru

## **ТИТАН МЕТАЛЛУРГИЯСЫНДАҒЫ ӘЛЕМДІК ИННОВАЦИЯЛАР**

**Ахметова Құралай Шәкенқызы** – техника ғылымдарының кандидаты, алюминий және алюминий зертханасының жетекші ғылыми қызметкері, Satbayev University. «Металлургия және кен байыту институты» АҚ, Алматы, Қазақстан., E-mail: kuralai-1950@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2410-670X>;

**Кенжалиев Бағдаулет Кенжалиұлы** – техника ғылымдарының докторы, профессор, директор, Satbayev University. «Металлургия және кен байыту институты» АҚ, Алматы, Қазақстан, E-mail: bagdaulet\_k@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1474-8354>;

**Гладышев Сергей Владиленович** – техника ғылымдарының кандидаты, алюминий және алюминий зертханасының жетекші ғылыми қызметкері, . Satbayev University. «Металлургия және кен байыту институты» АҚ, Алматы, Қазақстан, E-mail: gladyshev.sergey55@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4939-7323>;

**Ахмадиева Назым Қанатқызы** – PhD докторы, алюминий және алюминий зертханасының ғылыми қызметкері, Satbayev University. «Металлургия және кен байыту институты» АҚ, Алматы, Қазақстан, E-mail: naz-ank@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3154-9816>.

**Имангалиева Лейла Манарбекқызы** – техника ғылымдарының магистрі, алюминий және алюминий зертханасының кіші ғылыми қызметкері, Satbayev University. «Металлургия және кен байыту институты» АҚ, Алматы, Қазақстан, E-mail: leila.imangalieva@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0159-9970>.

**Аннотация.** Титанның әлемдік нарығы мен әлемдік ресурстарына аналитикалық шолу, өте күрделі материалдық құрамы бар өңделуі қиын ильменит концентраттарын өңдеу әдістері және жоғары технологиялық титан өнімдерін әлемдік өндірушілердің жетістіктері берілген. Ильменит құм концентраттарынан жоғары таза синтетикалық рутилді алудың ең жақсы, жақсырақ қолданылатын әмбебап технологиясын жасаған австралиялық Austrac Resources компаниясы қызметінің нәтижелері ерекше атап өтілді; Канадалық QIT-Fer & Titane Inc.

компаниясы, сапасы жағынан синтетикалық рутилмен салыстыруға болатын модификацияланған титан қожын өндіру технологиясын әзірледі, титан диоксидінде нашар гемоилменит концентратынан, құрамында тығыз байланысты ганга минералдары көп, негізгі анортозит жынысы және көптеген сидерофильді микроэлементтердің изоморфты қоспаларымен қиылысады; канадалық QIT компаниясының бейімделген технологиясын пайдалана отырып, жоғары хромды ұсақ құм төбе ильменитін өңдеу арқылы алынған 85% титан шлактары мен 94% синтетикалық рутилді нарыққа жеткізетін оңтүстік африкалық Richards Bay Minerals компаниясы; Қазақстанның Өскемен титан-магний комбинаты төмен және жоғары сұрыпты ильменит концентраттарының көмір шихтасының қоспасын бір сатылы редуциялық балқыту арқылы аэроғарыштық мақсатқа арналған титан губкасын, титан құймаларын және қорытпаларын өндіруді қамтамасыз етеді. Титан пигменттері мен титан металын өндірудің өзіндік құнын төмендетуге, бағалы металдың шикізат базасын кеңейтуге және қоршаған ортаны жақсартуға байланысты өзекті мәселелерді шешудегі ғылыми ұйымдардың табыстары көрсетілген.

**Түйін сөздер:** ильменит концентраты, пиро- және гидрометаллургиялық процестер, синтетикалық рутил, титан шлактары, шойын, титан губка, титан құймалары мен қорытпалары.

**К.Ш. Ахметова, Б.К. Кенжалиев, С.В. Гладышев\*, Н.К. Ахмадиева,  
Л.М. Имангалиева**

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

E-mail: gladyshev.sergey55@mail.ru

## **МИРОВЫЕ ИННОВАЦИИ ЭКСТРАКТИВНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ ТИТАНА**

**Ахметова Қуралай Шакеновна** – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории глинозема и алюминия, Университет Сатпаева, АО «Институт металлургии и обогащения», Алматы, Казахстан, E-mail: kuralai-1950@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2410-670X> ;

**Кенжалиев Багдаулет Кенжалиевич** – доктор технических наук, профессор, директор, Университет Сатпаева, АО «Институт металлургии и обогащения», Алматы, Казахстан, E-mail: bagdaulet\_k@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1474-8354>;

**Гладышев Сергей Владиленович** – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории глинозема и алюминия, Университет Сатпаева, АО «Институт металлургии и обогащения», Алматы, Казахстан, E-mail: gladyshev.sergey55@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4939-7323>;

**Ахмадиева Назым Канатовна** – PhD, научный сотрудник лаборатории глинозема и алюминия, Университет Сатпаева, АО «Институт металлургии и обогащения», Алматы, Казахстан, E-mail: naz-ank@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3154-9816>;

**Имангалиева Лейла Манарбековна** – магистр технических наук, младший научный сотрудник лаборатории глинозема и алюминия, Университет Сатпаева, АО «Институт металлургии и обогащения», Алматы, Казахстан, E-mail: leila.imangalieva@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0159-9970>.

**Аннотация.** Представлен аналитический обзор мирового рынка и мировых ресурсов титана, методов переработки труднообогатимых весьма сложных по вещественному составу ильменитовых концентратов, достижений мировых производителей высокотехнологичной продукции титана. Освещены результаты деятельности австралийской компании Austpac Resources, создавшей лучшую, предпочтительно используемую, универсальную технологию производства высокочистого синтетического рутила из концентратов ильменитовых песков; канадской компании QIT-Fer & Titane Inc., разработавшей технологию производства сопоставимого по качеству с синтетическим рутилом модифицированного титанового шлака, выплавляемого из бедного по диоксиду титана гемойльменитового концентрата с высоким содержанием тесно ассоциированных жильных минералов вмещающей анортозитовой породы и вкраплениями изоморфных примесей множества сидерофильных микроэлементов; южноафриканской компании Richards Bay Minerals, поставляющей на рынок 85% титановый шлак и 94% синтетический рутил, получаемых переработкой высокохромистого мелкодисперсного ильменита песчаных дюн адаптированной технологией канадской компании QIT; Усть-Каменогорского титаномагниевого комбината Казахстана обеспечивающего производство титана губчатого, титановых слитков и сплавов аэрокосмического назначения одностадийной восстановительной плавкой угольной шихты смеси низко- и высокосортного ильменитовых концентратов. Отражены успехи научных организаций в решении актуальных проблем, посвященных сокращению себестоимости производства титановых пигментов и металлического титана, расширению сырьевой базы ценного металла и улучшению экологии окружающей среды.

**Ключевые слова:** ильменитовый концентрат, пиро- и гидрометаллургические процессы, синтетический рутил, титановый шлак, чугун, титановая губка, титановые слитки и сплавы

### **Введение**

Титан, широко используемый с начала 40-х годов XX века, играет важную роль в стратегически важных областях мировой экономики. Титановые сплавы являются ключевыми и во многих случаях безальтернативными материалами в авиа-, ракето- и судостроении, атомной энергетике, химической, нефтехимической, оборонной промышленности, медицине и электронике. Авиакосмическая индустрия потребляет 75% общего объема производства титана. Оставшиеся 25% используются в кораблестроении, химической промышленности, энергетике, медицине, спорте и бытовой сфере.

Металлический титан, стабильно устойчивый к воздействию чрезвычайно агрессивных сред, является важным компонентом геотермальных технологий зеленой энергетики. Экологически безопасная и неиссякаемая энергия недр Земли является объектом повышенного внимания во всем мире. Разведка и эксплуатация геотермальных месторождений для генерации дешевой электроэнергии ведется во многих странах мира (Boyd, 2015, 12). Доказанные запасы геотермальных источников в Казахстане на порядок больше суммарных ресурсов нефти и газа

вместе взятых (Мендебаев, 2017, 57-67). По прогнозам, к 2050 году почти 64% титана будет использоваться в геотермальной энергетике (Madhumitha Jaganmohan, 2024).

Спектр наукоемких отраслей промышленности, использующих в экстремально жестких условиях эксплуатации устойчивые к температурным перепадам (от -196 до +600 °С) титановые суперсплавы, активно расширяется. Весомым вкладом в реализацию Международного мегапроекта ITER по созданию гигантского экспериментального управляемого термоядерного реактора мощностью 500 МВт, перешедшего из стадии строительства на юге Франции в стадию сборки, является разработанная специалистами Ульбинского металлургического завода (АО «УМЗ») технология получения крупногабаритных заготовок и изделий из бериллида титана, завоевавшая 2-е место на Международном симпозиуме *по технологии термоядерного синтеза SOFT2020*. Впервые изготовленный и успешно протестированный теплофизическими испытаниями нейтронного облучения полноразмерный блок бериллида титана в реакторе ВВР-К международными экспертами единогласно признан уникальным (Аринова, и др, 2022; Сайранбаев и др., 2023, 65-71).

Производство компактного металлического титана, получаемого из титановой губки, дорогостоящий, энергоемкий и трудозатратный процесс, этим объясняются малые объемы производства стратегически важного металла и потребление основной массы, до 95%, ежегодно добываемого минерального сырья преимущественно лакокрасочной индустрией, а также полимерной и целлюлозно-бумажной промышленностью.

#### *Мировой рынок титана*

Американской компанией **MarketWatch** корпорации Dow Jones прогнозируется дальнейший рост мирового рынка титана, отраженный в финансовом эквиваленте в миллиардах (B) долларов США (рисунок 1).

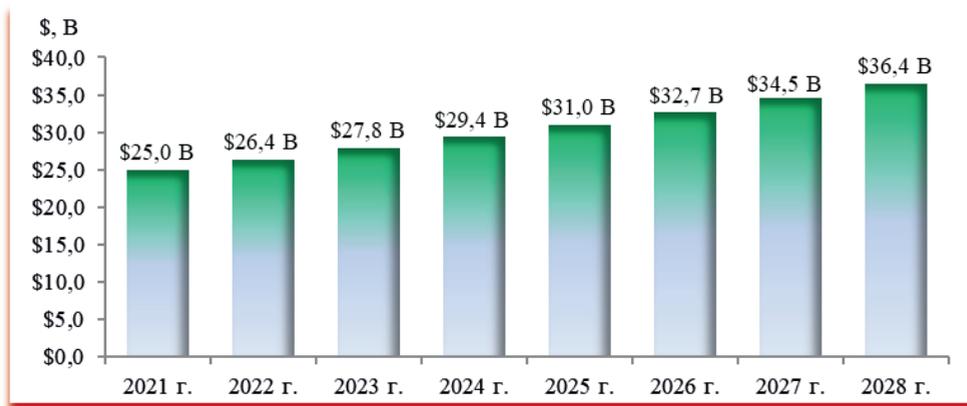


Рисунок 1 – Прогноз динамики мирового рынка титана

Объем рынка аэрокосмического титана (CAGR) оценивался в 1 миллиард долларов США в 2021 году и как ожидается, составит более 5% в годовом выражении с 2023 по 2032 год, стимулируемый восстановлением авиаперевозок, расширяющимся проектами по строительству коммерческих авиалайнеров и возрастающим использованием титановых материалов космической промышленностью (Kiran Pulidindi и др., 2023, 355). По оценке международной компании MetalResearch, лидирующие позиции на мировом рынке титана (титановой губки) занимают Япония, Казахстан и США (Рынок титана, 2024 эл. ресурс). По объему продаж Китай в 2023 году превзошел Нидерланды, Малайзию, Германию и Канаду, несмотря на прекращение деятельности нескольких предприятий из-за низкого качества титановой продукции (рисунок 2).

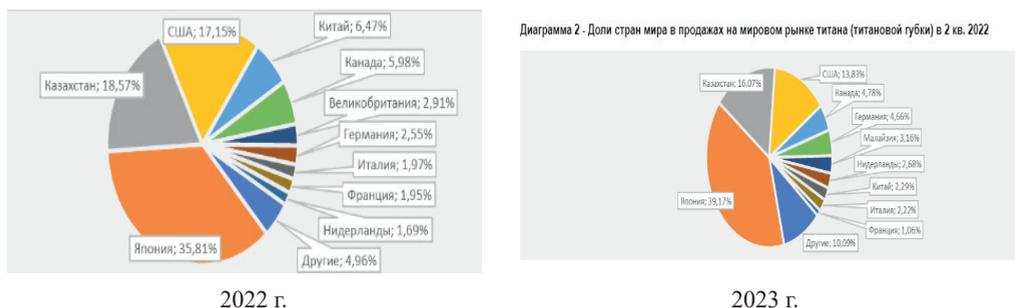


Рисунок 2 – Долевое участие стран на мировом рынке титана (титановой губки) в 2022-2023 гг.

Среднегодовой темп роста рынка диоксида титана, поставляемого производителям белых титановых пигментов в прогнозируемый период (2023-2032 гг.) составит 8,9% (рисунок 3). Ключевые факторы, способствующие развитию рынка диоксида титана – растущий спрос на легкие автомобили, краски и покрытия в строительной промышленности, особенно в Азиатско-Тихоокеанском регионе (Priya Naqrale, 2024, 185).

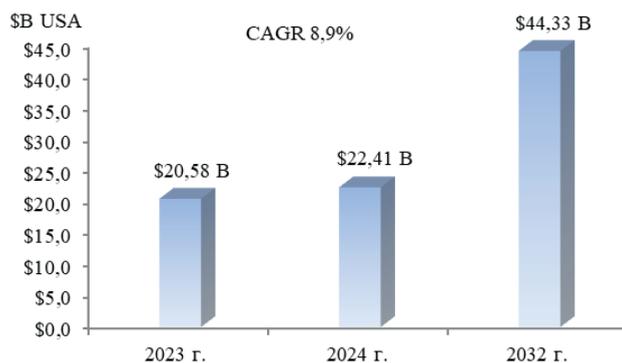


Рисунок 3 – Прогноз динамики мирового рынка диоксида титана

### Минеральные ресурсы титана

Титан литофильный элемент с сильным сродством к кислороду, предопределяющим присутствие его в земной коре обычно в оксидных минералах. Наиболее важными минералами титана являются ильменит ( $\text{FeTiO}_3$ ) и полиморфные модификации диоксида титана ( $\text{TiO}_2$ ) – рутил, анатаз и брукит (Global titanium minerals reserves, 2024). Менее употребительны субхозяиственные минералы: псевдобрукит ( $\text{Fe}_2\text{TiO}_5$ ), перовскит ( $\text{CaTiO}_3$ ), гейкелит ( $\text{Mg,FeTiO}_3$ ), пирофанит ( $\text{MnTiO}_3$ ) и титанит или сфен ( $\text{CaTiSiO}_5$ ).

Ильменит – широко распространенный минерал в основных и ультраосновных породах, рутил – высокостабильный аксессуарный минерал в метаморфических породах, часто встречающийся в минерализованных зонах и ореолах изменения многих гидротермальных и метаморфизованных месторождений полезных ископаемых. Анатаз и брукит являются продуктами низкотемпературных изменений ильменита или титанита.

Месторождения титана огромны, однако запасы наиболее экономически ценных песчаных рутиловых руд и высококачественных ильменитовых песков ограничены в объеме. По текущим оценкам, общие мировые запасы титана в ильмените и рутиле, вместе взятых, составили примерно 745 миллионов метрических тонн в 2023 году. На ильменит приходится 94% мировых запасов титана, на рутил всего около 4%. Главные мировые резервы рутила сосредоточены в Австралии (31 млн тонн, 63%). Самыми большими запасами титановых минералов обладает Китай, примерно 210 миллионов метрических тонн ильменит-титаномагнетитового сырья в пересчете на диоксид титана.

Уровень мировой добычи ильменита составляет 9 млн. тонн в год в пересчёте на диоксид титана. Страны-лидеры – Китай (38%), Мозамбик (13%) и ЮАР (10%). В 2023 году добыча ильменита на рудниках в КНР достигла примерно 3,1 миллиона метрических тонн в пересчете на диоксид титана, что почти вдвое больше объема добычи Мозамбика, второго по величине мирового производителя минерального сырья титана (рисунок 4).

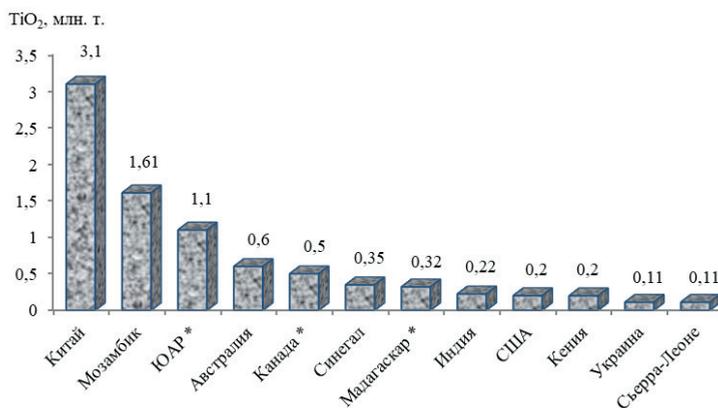


Рисунок 4 – Уровень мировой добычи минерального сырья титана в 2023 году

Рутил добывается в объеме 590 тыс. тонн в основном в Австралии (32%), Сьерра-Леоне (22%) и ЮАР (16%). Добываемый на рудниках ЮАР, Канады и Мадагаскара ильменит используется, в основном, для производства титанового шлака.

На территории Казахстана распространены практически все основные промышленно-генетические месторождения титана: магматогенные, метаморфогенные и экзогенные (Омирсериков М.Ш. и др., 2016, 42-47). Отдельную группу составляют техногенные месторождения титана, локализирующиеся в отходах горнодобывающих и перерабатывающих предприятий. Запасы титана заключены преимущественно в трех геолого-промышленных месторождениях. Ведущую роль играют древние и современные речные и прибрежно-морские россыпи, в которых сосредоточено 55% мировых запасов титана. Второе место занимают ильменит-магнетитовые, ильменит-гематитовые и ильменит-рутиловые месторождения в габбро-анортозитах (25%) и анатаз-перовскит-рутиловые разновидности в корах выветривания карбонатных массивов (19%). Широко развиты магматические титаномagnetитовые руды с содержанием свыше 10%  $TiO_2$  и около 45% оксидов железа, связанные с щелочными базит-ультрабазитовыми интрузиями. Крупное титаномagnetитовое месторождение Тымлай разведано в Жалаир-Найманской зоне, подобные проявления обнаружены в Восточно-Мугоджарском антиклинарии, Кокшетауском срединном массиве, Сарымсактинской области на Рудном Алтае. Богатое ильменитом (до 400 кг/м<sup>3</sup>) Караобинское месторождение титаносодержащей коры выветривания верхнепалеозойских габбро-пироксенитов расположено в Восточно-Мугоджарском антиклинарии. Подавляющее большинство месторождений комплексных ильменит-циркон-рутиловых россыпей кластогенно-осадочных формаций с массовой долей от 14 до 64% тяжелой фракции, содержащей от 37 до 57%  $TiO_2$  в ильмените, сосредоточено в Западном (Шокашское), Северном (Обуховское) и Восточном (Сатпаевское) Казахстане. Богаты титаном бокситы Наурзумского алюминиевого мелового комплекса, в которых запасы  $TiO_2$  оцениваются в 2,5 млн. т при среднем содержании в бокситах 4,5%. В бокситах Краснооктябрьского месторождения содержится 1,89%  $TiO_2$ . В крупнотоннажных красных шламах Павлодарского алюминиевого завода (ПАЗ АО «Алюминий Казахстана»), образующихся в процессе Байер-спекания бокситов, массовая доля диоксида титана около 4-5% соизмерима с содержанием его в ильменитовом сырье. Осадочные тяжеломинеральные пески Казахстана, отнесенные геологической службой США по генетическому происхождению к депозитному классу S, содержат 0,3 миллиона метрических тонн рутила с соотношением ильменита и титаномagnetита ~ 3.

#### *Мировые процессы производства синтетического рутила*

Минерал ильменит представляет собой прежде всего титанат железа с широкой вариацией массового соотношения  $TiO_2$ , FeO и  $Fe_2O_3$  и множества изоморфных примесей сидерофильных микроэлементов. Проблематичность переработки ильменитовых концентратов, используемых для производства синтетических

рутилов и электротермических титановых шлаков, усугубляют плотное срастание зерен гематита  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  с пластинками ильменита  $\text{FeTiO}_3$  и вкрапления тесно ассоциированных разнообразных жильных минералов вмещающей породы. Известный Summit процесс оказался коммерчески неосуществимым из-за высоких капитальных и эксплуатационных затрат. Isihara процесс, характеризующийся образованием большого объема сульфатного железа, неприемлем для сернокислотного выщелачивания лейкоксеновых ильменитовых концентратов, содержащих нерастворимый в кислотах рутил. Процессы Murso, Лапорта, TSR солянокислотного выщелачивания не были коммерциализованы из-за низкой эффективности и недостатка финансирования.

Синтетический рутил в Западной Австралии в течение многих лет производился с применением Бехер (Becher) процесса, разработанного в первую очередь для повышения содержания  $\text{TiO}_2$  в западноавстралийском ильмените примерно с 55 до 92-95% (Е.А. Walpole и др., 2002, 1-13). Это двухэтапный процесс, включающий металлизацию ионов двух- и трехвалентного железа при температуре свыше  $1100^\circ\text{C}$  во вращающейся обжиговой печи с использованием в качестве восстановителя и топлива химически активного угля. Восстановленный ильменит выщелачивали воздушной аэрацией в водном растворе хлорида аммония ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ ) для удаления металлического железа, выделяемого в осадок в виде гидроксида. Синтетический рутил дополнительно очищали от остаточного железа сернокислотным выщелачиванием.

Becher process пригоден для облагораживания концентрата ильменитовых песков с высоким содержанием диоксида титана и низким оксидов железа. При превышении допустимой концентрации магния и хрома процесс становится технически неприемлемым из-за подавления медленной скорости аэрационного выщелачивания, длительностью 14-20 часов при переделе 20 тонн восстановленного ильменита.

Компания Austrac Resources N.L. в 1988 году приняла участие в разведке и освоении крупных месторождений ильменитового песка Вестпорт на западном побережье Южного острова Новой Зеландии. Вестпортский ильменит известен многочисленными силикатными минеральными включениями, а концентрат значительной долей отдельных зерен свободного граната - силикатного минерала разнообразного состава. Гранат по плотности и магнитно-электрическим свойствам аналогичен ильмениту, поэтому его трудно удалить обычными методами обогащения минеральных песков.

Обширными испытаниями на лабораторных и пилотных установках инновационных изобретений компания Austrac Resources запатентовала процессы «Усиленного обжига и магнитной сепарации» (ERMS), непрерывного выщелачивания и «Улучшенной кислотной регенерации» (EARS). Технология ERMS SR компании Austrac, сочетающая энергоэффективные процессы окислительно-восстановительного обжига, выщелачивания и кислотной регенерации, позволяет по конкурентоспособной цене получать высокочистый синтетический рутил ( $> 97\% \text{TiO}_2$ ) для производства хлоридным методом белого пигмента диоксида титана и металлического титана.

ERMS процесс – двухстадийный контролируемый обжиг концентрата тяжелых минералов в псевдооживленном слое, проводимый вначале в окислительной атмосфере при температуре ~ 950 °С для усиления магнитной восприимчивости ильменита за счет перевода двухвалентного железа в трехвалентное состояние и отделения его магнитной сепарацией от слабомагнитных жильных минералов, таких как хромит и гранат с высокой, более 90%, степенью очистки. На второй стадии обжига при температуре свыше 1000 °С с использованием углеводородного топлива (обычно угля) окисленное железо восстанавливается до двухвалентного состояния, в котором оно очень легко выщелачивается в небольшом избытке 25% суперazeотропной соляной кислоты при атмосферном давлении совместно с некремнеземистыми оксидами кальция, магния, марганца и алюминия. Основная масса диоксида титана становится при этом практически нерастворимой, частично растворившая фракция выделяется в осадок в виде гидратированных оксихлоридов, преобразующихся в  $TiO_2$  на заключительном этапе прокаливания. Общее время выдержки окислительно-восстановительного обжига составляет от 2 до 3 часов. Восстановленный ильменит подвергается анаэробному охлаждению и магнитной сепарации в мощном барабанном магнитном сепараторе для отделения оставшейся пустой породы и мелких частиц обуглившегося материала. Выщелачивание восстановленного ильменита в псевдооживленном слое осторожным перемешиванием, минимизирующим образование шламов, ранее проводилось в реакторах периодического действия, обогреваемых острым паром. Заменой реакторов периодического действия на запатентованный реактор непрерывного действия увеличена производительность процесса.

Кек фильтрации пульпы отработанного солянокислого раствора железа и примесей промывается, высушивается и прокаливается в псевдооживленном слое при температуре ~ 800 °С в течение ~ 20 минут. Полученный синтетический рутил соломенного цвета очищается от остаточной (номинально 2-3%) фракции породных минералов, включая хромит, высокоинтенсивной магнитной сепарацией.

Новизна EARS процесса кислотной регенерации заключается в полном обезвоживании отработанного выщелачивающего раствора в испарителе с псевдооживленным слоем при температуре 140 °С, исключаяющей спекание гранул хлорида железа, перерабатываемых пирогидролитическим обжигом в псевдооживленном слое. Преимуществом процесса EARS по сравнению с известным способом термического разложения разбрызгиванием травильной кислоты сталелитейной промышленности в пирогидролитическом реакторе является получение 25%-ной по массе суперazeотропной кислоты, использование которой увеличивает скорость выщелачивания железа и других примесей и уменьшает объем выпариваемой воды во время кислотной регенерации.

Двухступенчатый окислительно-восстановительный обжиг в настоящее время считается предпочтительным процессом производства синтетического рутила. Универсальность технологии ERMS SR подтверждена успешной переработкой на мини заводе более 70 ильменитов из разных стран. Нынешние разработки сосредоточены на ильменитах из штата Орисса в Индии и

разведанных месторождениях крупнейшего речного бассейна Мюррей-Дарлинг в Западной Австралии. Разработчики процесса Austrac ERMS SR награждены престижной премией номинации «Прикладная технология года» австралийской горнодобывающей промышленностью.

#### *Мировые процессы производства титановых шлаков*

Крупнейшим продуцентом титанового шлака в Северной Америке является канадская компания QIT-Fer & Titane Inc., (кратко QIT) (Michel Guéguin и др., 2007, 1-58). Титановые шлаки плавильного завода Sorel-Tracy – дочерней компании QIT составляют около 37% мирового уровня сырья, используемого в основном в Европе для производства диоксида титана сернокислотным методом. Объем производства титанового шлака с 1950 года увеличился в 4,4 раза с 250 000 тонн примерно до 1 100 000 т. Многолетними исследованиями качество низкосортного титанового шлака под торговой маркой Sorelslag с массовой долей 70-72%  $\text{TiO}_2$ , производившегося с 1950 по 1983 год, улучшено очисткой от примесей до 80% диоксида титана. С 1997 года, повторным обогащением кислоторастворимого Sorel шлака, получают модернизированный титановый шлак (UGS slag – Upgraded titania slag), сопоставимый по качеству (94%-95%  $\text{TiO}_2$ ) с синтетическим рутилом.

Сырьем является труднообогатимый бедный концентрат (34,5 мас %  $\text{TiO}_2$ ) первичного ильменита с высоким содержанием серы из-за наличия пирита ( $\text{FeS}_2$ ), получаемый гравитационной сепарацией гемоильменитовой руды, добываемой на анортозитовом месторождении Лак Тио на востоке Квебека. Гемоильменитовой называют обычно руду с плотным срастанием зерен гематита  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  с пластинками ильменита  $\text{FeTiO}_3$ . Наряду с зернами гемоильменита присутствуют жильные минералы вмещающей анортозитовой породы: силикаты, оксиды, сульфиды и сульфосоли. Основную массу кремнезема, глинозема и кальция в руде представляют такие жильные минералы, как плагиоклаз, полевой шпат, андезин. Другими важными силикатными минералами являются слюда флогопит, хлорит, энстатит и, в меньшей степени, титанит  $\text{CaTiOSiO}_4$ . Основной оксидный минерал – феррошпинель. Микроэлементы никель, кобальт и медь придаются миллеритом  $\text{NiS}$ , кобальтитом  $\text{CoAsS}$ , линнеитом  $\text{Co}_2+\text{Co}_3+2\text{S}_4$  и халькопиритом  $\text{CuFeS}_2$ .

Поскольку гравитационная сепарация не позволяет удалить пирит из рудного сырья, десульфурацию первичного ильменитового концентрата осуществляют окислительным обжигом в воздушной атмосфере во вращающейся электропечи с максимальной внутренней температурой 1090 °С. Топливом для нагрева является газ и пылевидный уголь. Окислительным разложением сульфидных и сульфосолевых минералов содержание серы в огарке концентрата снижают с 0,25-0,30% до 0,02-0,03%. Процесс обжига сопровождается образованием больших ободков магнетита вокруг ильменита и ферромагнитных доменов внутри зерен гемоильменита в результате переупорядочения атомов кристаллической решетки ильменита и гематита и взаимодействия оксидов двух- и трехвалентного железа на границах ильменит-гематитовых сростков. Второстепенные элементы  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{V}^{3+}$  и  $\text{Cr}^{3+}$  вместе с некоторым количеством магния и титана перераспределяются из окисленных зерен ильменита в зерна магнетита. В зернах ильменита остается

большая часть марганца и магния. Следы ванадия и хрома в виде крошечных включений содержатся, в основном, в зернах гематита. Новообразованный в огарке магнетитовый минерал представляет собой твердый раствор между чистым магнетитом и минералами, имеющими структуру шпинели, такими как магнезиоферрит  $MgFe_2O_4$ , ульвошпинель  $FeTi_2O_4$  и в меньшей степени хромит  $FeCr_2O_4$ , герцинит  $FeAl_2O_4$ , кульсонит  $FeV_2O_4$ , феррит марганца  $MnFe_2O_4$ , треворит  $NiFe_2O_4$  и феррит кобальта  $CoFe_2O_4$ .

Охлажденный до температуры 100-200 °С, просеянный и отделенный от нежелезных примесей (в основном  $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$ ,  $CaO$ ) сухой высокоинтенсивной магнитной сепарацией, ферромагнитный материал подвергают карботермической плавке при температуре около 1700 °С в электродуговой печи с использованием антрацита, реагирующего с водяным паром с образованием плавильного газа – смеси  $CO$  и  $H_2$ . Оксиды железа, восстанавливаясь реакционными газами, образуют плотные ( $\rho = 6800 \text{ кг}\cdot\text{м}^{-3}$ ) жидкотекучие при высокой температуре капли железоуглеродистого расплава, которые под действием силы тяжести оседают на дно ванны печи. Титановый шлак, обладающий более низкой плотностью, в среднем  $3500 \text{ кг}\cdot\text{м}^{-3}$ , и низкой динамической вязкостью, около 30 мПа·с, всплывает на поверхность расплавленного железа. По мере накопления расплав обогащенного титаном шлака периодически выпускают через верхнюю летку печи, железоуглеродистый расплав через нижнюю летку.

Полученный Sorelslag с содержанием 80 масс.%  $TiO_2$  характеризуется особым химическим и минералогическим составом, поскольку в процессе шлакообразования диоксид титана частично восстанавливается до полутороокиси  $Ti_2O_3$ . Массовая доля  $TiO_2$  в шлаке составляет 62%,  $Ti_2O_3$  – 8%. Второстепенные металлы такие как  $V^{3+}$ ,  $Cr^{3+}$  и  $Mn^{3+}$ , а также  $Si^{4+}$ , частично восстанавливаясь, распределяются между расплавленным титановым шлаком и железоуглеродистым расплавом. Большинство микроэлементов с сидерофильными свойствами, в частности кобальт и никель, переходят в жидкий металл. Остаточное количество серы также переходит либо в шлак, либо в железоуглеродистый расплав. Дополнительной очисткой железоуглеродистого расплава от примесей запатентованным QIT процессом, получают чугуны высокой чистоты (Sorelmetal) или высококачественную сталь (Sorelsteel).

Часть Sorel шлака продается производителям диоксида титана серноокислотным методом, другая часть повторно обогащается запатентованным QIT процессом с получением очищенного от примесей UGS шлака с массовым содержанием 94%-95%  $TiO_2$  для производства карбохлорированием тетрахлорида титана и последующим его окислением высококачественного синтетического рутила.

Для сокращения объема отходов, образующихся в процессе карбохлорирования, эффективность которого сильно зависит от уровня вредных примесей, блоки Sorel шлака дробят, измельчают, сортируют, подвергают термической окислительной и восстановительной обработке, затем кислотным выщелачиванием удаляют примеси магния, кальция, железа, алюминия, марганца, ванадия и хрома.

Окислительной обработкой в токе сухого воздуха при температуре около 1000

°C весь восстановленный титан переводят из три- и монооксидного состояния в высшую диоксидную форму, нерастворимую при кислотном выщелачивании под высоким давлением. Совместно с титаном окисляются  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{V}^{5+}$ , и  $\text{Mn}^{3+}$ , валентность других второстепенных элементов  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$ , и  $\text{Cr}^{3+}$  не меняется.

Восстановительным обжигом с использованием плавильного газа с массовой долей 85 об.% CO и 15 об.%  $\text{H}_2$  при температуре 800°C оксид трехвалентного железа переводят в легкорастворимый в соляной кислоте монооксид FeO. При этом диоксид титана остаётся неизменным. Полученный продукт, называемый термообработанным шлаком, состоит в основном из смеси рутила и железистого карруита. Хромофорные элементы, главным образом ванадий и хром, равномерно распределяются между этими фазами.

Этот двойной процесс термического окисления-восстановления является обязательным, поскольку он значительно улучшает кислотное выщелачивание примесей, содержащихся в Sorel шлаке, с минимальным потреблением соляной кислоты и минимальными потерями диоксида титана без измельчения частиц.

При выщелачивании термообработанного и охлажденного шлака под высоким давлением и умеренной температуре раствором азеотропной соляной кислоты большая часть железа, магния, алюминия, марганца, кальция, ванадия и хрома растворяется в виде хлоридов (например,  $\text{FeCl}_2$ ,  $\text{MgCl}_2$ ,  $\text{AlCl}_3$ ,  $\text{MnCl}_2$ ,  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{CoCl}_2$  и  $\text{CrCl}_3$ ) или оксихлоридов металлов. Выщелоченный шлак промывают, сушат и прокаливают с получением обогащенного диоксидом титана UGS шлака с массой долей не менее 94,5%  $\text{TiO}_2$  и менее 1,1% MgO и 0,1% CaO. Удаление примесей из шлака Sorel с помощью пиро-гидрометаллургического процесса позволяет получить самый чистый синтетический рутил на рынке, пригодный для хлоридного производства белого пигмента диоксида титана.

Отработанную кислоту регенерируют непрерывной подачей горячих газов в пирогазификатор со слоем оксидов металлов в качестве заправки, способствующей зарождению и росту новых кристаллов.

В Южной Африке ведущим производителем титанового шлака, чугуна высокой чистоты, рутила и циркона является компания Richards Bay Minerals (RBM) австралийско-британского концерна Rio Tinto Group и австралийской компании BHP Billiton Ltd (BHPB) (G.E. Williams и др., 2006, 181-188). Она производит добычу и обогащение обширных запасов полезных ископаемых песчаных дюн, протяженностью 17 км и шириной в два километра на побережье Зулуленда в северной зоне провинции Квазулу-Натал, было начато в 1977 году.

Компания RBM с момента основания производила около 400 000 тонн диоксида титана в год с одной установкой добычи руды земснарядом и двух плавильных печей. Строительством дополнительной горнодобывающей установки и плавильной печи производство титанового шлака в 1986 году увеличено до 750 000 тонн в год. Крупнейшими инвестициями в производственные мощности в начале 1990-х годов построена четвертая печь и горнодобывающий цех, благодаря чему годовое производство титанового шлака возросло до 1 млн, а чугун до 550 000 тонн. В настоящее время мощности RBM позволяют производить около 2 млн

тонн продукции ежегодно, включая приблизительно 100 000 тонн рутила и 250 000 тонн циркона. Из этого объема 95% идет на экспорт, что обеспечивает долю мирового рынка диоксида титана и рутила в размере около 25%, мирового объема производства циркона 33% и мирового объема производства чугуна высокой чистоты 25%.

Основными видами коммерческой продукции RBM являются титановый шлак с содержанием 85%  $TiO_2$ , 94% синтетический рутил и диоксид циркония. Наибольшее применение рутил находит в качестве белого пигмента, на долю которого приходится от 95 до 98% мирового потребления  $TiO_2$ . Остальная часть используется в качестве флюса для электродвигательных сварочных стержней, а также в некоторых металлургических и электронных установках. Очищенный диоксид циркония используется в широком спектре современной керамики, огнеупоров, ювелирных изделий, в электронике и во многих других промышленных и бытовых изделиях. Циркониевый песок применяется также в литейной промышленности в качестве формовочной смеси, поскольку он устойчив к высоким температурам. Высокая температура плавления циркона делает его пригодным в качестве огнеупорной футеровки.

Для извлечения и разделения тяжелых минералов - ильменита, рутила и циркона (около 5% по объему) из песка компания RBM использует экскаваторную технологию, впервые разработанную в Голландии и Австралии. Отделением песка многоступенчатой магнитной сепарацией получают коллективный концентрат тяжелых минералов. Полученный концентрат на плавильном заводе перемешивают на установке подготовки сырья и последовательной магнитной сепарацией низкой и высокой интенсивности получают ильменитовый концентрат, отделенный от немагнитных материалов, в том числе от циркона и рутила. Разделение и обогащение этих минералов, обладающих разной электронной проводимостью, проводят электростатической сепарацией высокого напряжения, магнитной сепарацией, гравитационной сепарацией и грохочением.

Ильменитовый концентрат песчаных дюн Зулуленда не приемлем для выплавки титанового шлака из-за высокого содержания оксида хрома  $Cr_2O_3$ . Магнитная восприимчивость минералов хрома и ильменита почти идентична. Поэтому ильменитовый концентрат вначале подвергают окислительному обжигу псевдоожиженным слоем в двух-трехступенчатых печах в температурном диапазоне от 730 до 800 °С. После охлаждения до температуры окружающей среды окисленный ильменит отделяют от слабомагнитных минералов хрома пропусканием через барабанный магнитный сепаратор низкой интенсивности. Затем непрерывной плавкой в четырех шестирядных крупнейших в мире электродуговых печах переменного тока окисленный ильменит частично восстанавливают с применением антрацита. Расплав титанового шлака с содержанием около 85%  $TiO_2$  и высокочистого чугуна с низким содержанием марганца периодически выпускают из печи при температуре приблизительно 1700 °С.

Технология карботермической плавки, используемая компанией RBM, была первоначально разработана и апробирована на заводе Sorel-Tracy канадской

компании QIT, где выплавкой крупнозернистого ильменита в аналогичных печах получают обогащенный диоксидом титана шлак и передельный чугу́н. Эта технология была адаптирована для переработки мелкодисперсного ильменита с высоким содержанием оксида хрома, добываемого из песчаных дюн Зулуленда в северной зоне Квазулу-Натал.

Южно-Африканским Советом по научным и промышленным исследованиям создан инновационный низкотемпературный ( $\sim 200$  °C) CSIR процесс производства тетрахлорида титана  $TiCl_4$ , сокращающий потребление дорогостоящего хлора, энергетические затраты и объем образующихся канцерогенных отходов (Jaco Johannes Swanepoel, 2010, 151). В промышленных масштабах тетрахлорид титана, получаемый хлорированием синтетического рутила и титанового шлака при температуре  $\sim 900$  °C для производства белого пигмента и металлического титана, сопровождается образованием хлоридных и оксихлоридных возгонов множества сопутствующих титану вредных примесей. Ключевой операцией CSIR процесса является азотирование необоженного низкосортного ильменита карботермической конверсией под действием газообразного азота при температуре примерно  $1325$  °C в течение 6 часов. Азотированный ильменит, содержащий около 45-46% металлического железа, 38-40% нитрида титана  $TiN$ , 5,4%  $TiO_2$ , охлаждается в атмосфере газообразного азота и отделяется от остаточного полукокса сухой магнитной сепарацией. Затем без дополнительного помола выщелачивается раствором соляной кислоты. Выщелачивание 25% соляной кислотой при мольном отношении кислоты к железу 2:1 в реакторе периодического действия с обратным холодильником в течение 60 минут при температуре  $90$  °C позволяет удалить 97-98% металлического железа и увеличить содержание нитрида титана ( $TiN$ ) до 70%,  $TiO_2$  до 10% (J.J. Swanepoel и др., 2011, 137-140). Нитрид титана, как известно, очень легко образуется при высокотемпературном восстановлении ильменита в присутствии азота воздуха. Нитрид титана, несмотря на то что титан в нем трехвалентен, стабильно устойчив при пропускании хлора даже при температуре  $270$  °C. Любые оставшиеся компоненты в азотированном ильмените при низкотемпературном методе производства тетрахлорида титана  $TiCl_4$  не реагируют с хлором.

В Казахстане Усть-Каменогорский титаномагние́вый комбинат (АО «УК ТМК») является одним из крупнейших вертикально интегрированных мировых производителей титана губчатого марки ТГ-100, титановых слитков и сплавов марки Grade 5 системы Ti-6Al-4V, 6-4, 10-2-3, 6-2-4-2 и 553-3, магния марки МГ-90, пентоксида ванадия марки ВНО-0, ВНО-1, ВНО-2. Качество титановой продукции аэрокосмического назначения предприятия сертифицирована всеми ведущими компаниями отрасли: Airbus, Safran, Boeing, TIMET, RMI, General Electric, Pratt & Whitney, SNECMA в соответствии с международными стандартами ASTM, ISO серии 9000, AS 9100, Nadcap.

Первый казахстанский губчатый титан получен в 1963 году, магний в 1965 г., производство пентоксида ванадия начато в 1970 г., титановых слитков и сплавов в 2010 г., титанового сляба в 2014 г.

Производственная деятельность комбината успешно развивается модернизацией технологических процессов и оборудования в творческом содружестве с научными организациями и реализацией совместных проектов с зарубежными партнерами.

Колоссальный технико-экономический эффект получен заменой многооперационной, трудоемкой и малорентабельной технологии производства пентоксида ванадия ( $V_2O_5$ ) на высокоскоростной процесс противоточной селективной экстракции в ящичном аппарате непрерывного действия с автоматизированной системой управления, разработанный в Институте металлургии и обогащения (АО «ИМиО») (Ахметова К.Ш. и др., 2007, 5). Применяемая свыше 40 лет экстракционная технология производства коммерческой продукции ванадия чистотой свыше 99,5%  $V_2O_5$  позволила увеличить прямой выход дефицитного металла с 65-67% до 94-96%. Специалисты АО «УК ТМК» и АО «ИМиО» награждены Государственными премиями СССР (1988) и Казахстана (2001).

Коренной реорганизацией процесса ректификации улучшено качество технического тетрахлорида титана ( $TiCl_4$ ), получаемого хлорированием титанового шлака, благодаря сокращению содержания в нем ванадия в 11 раз, свободного хлора в 7 раз, твердых взвесей более, чем в 1,6 раза (Akhmetova K.Sh. и др., 2020, 567-570). Следует пояснить, что очистке технического тетрахлорида титана – сложной поликомпонентной смеси неорганических и органических примесей, присутствующих в газообразном, жидком и твердом агрегатном состоянии, придается исключительно большое внимание. Крайне вредной, трудноудаляемой примесью из  $TiCl_4$  является окситрихлорид ванадия ( $VOCl_3$ ). Основная масса ванадия ~ 85% в процессе восстановительной плавки ильменитовых концентратов переходит в титановый шлак. При хлорировании титанового шлака в смеси с нефтяным коксом в расплаве отработанного хлоркалийевого электролита магниевое производство около 75% ванадия концентрируется в возгонах парогазовой смеси технического  $TiCl_4$ , в основном, в виде окситрихлорида  $VOCl_3$ . Неограниченная смешиваемость и весьма близкая температура кипения  $VOCl_3$  и  $TiCl_4$ , соответственно 127 и 136 °C, обуславливают трудность очистки технического  $TiCl_4$ . Поэтому тонкая очистка  $TiCl_4$  от  $VOCl_3$  является одной из важнейших задач в производстве губчатого титана. Вместе с тем, ванадий, традиционно используемый в качестве легирующей добавки в сталелитейной промышленности, необходим для производства ванадиевых редокс-проточных (VRFB) аккумуляторов, обеспечивающих накопление и хранение энергии в больших масштабах, особенно в сочетании с источниками солнечной и ветровой энергии. Аналитическое агентство Research and Markets в связи с возрастающим спросом на возобновляемые источники энергии прогнозирует рост мирового рынка VRFB с 237,5 млн долларов США в 2022 году до 1,3 млрд долларов США к 2030 году (Vanadium Redox Flow Battery (VRB) Global Market Report, 2024).

Другим крупнейшим достижением, влияющим на формирование себестоимости производства титановой губки, получаемой магнием термическим восстановлением

тетрахлорида титана, является разработка и внедрение совместно с Всероссийским алюминиево-магниевым институтом (ВАМИ) магниевых бездиафрагменных электролизеров с повышенной до 40% производительностью и увеличенным в 1,8 раза сроком службы, заменивших диафрагменные. Применение электролизеров усовершенствованной конструкции и освоение низкотемпературной в пределах 655-670 °С технологии электролиза магния с автоматизированной системой контроля и управления процессом для поддержания оптимальной температуры и состава электролита позволило сократить удельный расход электроэнергии на 22%, удельный расход графита при производстве магния в 3,2 раза, потери хлора с газами сантехнического отсоса в 5 раз, тепловыделение в цеховое пространство в 2,8 раза, выбросы твердых отходов в два раза, облегчить трудоемкую операцию по выборке шлама электролитной смеси и улучшить условия труда обслуживающего персонала. За эти разработки специалисты АО «УК ТМК» и ВАМИ были удостоены Государственной премии Казахской ССР в 1984 г.

Для сокращения себестоимости производства магния созданы инновационные электролизеры с биполярными электродами с повышенной на 18-20% суточной производительностью и сниженным на 20% удельным расходом электроэнергии на шунте аппаратов нового поколения. Разработана и испытана на опытно-экспериментальном металлургическом предприятии (ОЭМП) АО «ИМиО» ресурсосберегающая технология утилизации техногенных отходов, образующихся при обезвреживании импортируемого израильского природного карналлита, используемого в качестве сырьевого источника магниевое производство, обеспечивающая извлечение свыше 99,0% хлористого калия и не менее 92% хлористого магния с получением высокочистого синтетического силвина, карналлита и бишофита. Экспертизой в Центральной лаборатории АО «УК ТМК» подтверждено соответствие качества стандартным требованиям всей продукции хлористых солей калия и магния, обеспечивающих восполнение материальных затрат в титаномагниевого производстве, благодаря оборотному использованию вторичного сырья.

Производство титановых слитков и сплавов – прорывное достижение АО «УК ТМК» по расширению ассортимента продукции с высокой добавленной стоимостью, имеющей мультипликативный эффект для всей экономики Республики Казахстан. Выпускаемый комбинатом титановый сплав марки 6-4 перерабатывается в готовые изделия и успешно используется в крепежных конструкциях современных самолетов крупнейшей авиастроительной компанией Airbus. Наиболее привлекательные титановые сплавы 10-2-3, 6-2-4-2 и 553-3 – изделия тройного вакуумно-дугового переплава (ВДП) применяют в критических и вращающихся частях авиационных и вертолетных двигателей, а также шасси европейских авиалайнеров.

Созданное совместно с французской компанией «AUBERT&DUVAL» предприятие «УКАД» в 2008 году для строительства завода по производству титановых поковок, листов, прутков и проволоки из титановых слитков и сплавов АО «УК ТМК» в г. Лез-Ансиз вышло на проектную мощность в 10 000 тонн

продукции в год в 2013 г. и стало в 2015 г. крупнейшим ковочным производством в Европе, усилившим конкурентоспособность казахстанского титана на мировом рынке и расширившим номенклатуру и рынок сбыта выпускаемой продукции.

Второе казахстанско-французское предприятие «Eco Titanium», созданное в сентябре 2014 г. компанией «УКАД» совместно с французским Агентством по окружающей среде и управлению энергии «ADEME» и Региональным банком «Crédit Agricole Centre France», завершило строительство первого европейского завода в г. Клермон-Ферран (Франция) по производству титановых слитков методом плазменной плавки титановой губки АО «УК ТМК» и титанового лома европейских производителей. Ввод в эксплуатацию завода СП «Eco Titanium» позволит АО «УК ТМК» увеличить объем экспорта своей продукции, получить доступ к новым производственным и финансовым ресурсам в Европе и обеспечить безотходное производство титановой продукции СП «УКАД».

Созданием с южнокорейской компанией «POSCO», крупнейшим мировым производителем стали в 2010 г. совместного предприятия ТОО «ПОСУК Титаниум», построен и введен в эксплуатацию в декабре 2014 г. в г. Усть-Каменогорск завод по производству титановых слитков и слябов методом электронно-лучевой плавки титановой губки в печи мощностью не имеющей аналогов в мире. Объем экспорта титановых слитков и слябов ТОО «ПОСУК Титаниум» со 100% содержанием чистого титана, перерабатываемых на предприятиях «POSCO» в горяче- и холоднокатанные титановые листы и трубы, реализуемые судостроительным компаниям Южной Кореи, в 2016 г. возрос более чем в 4 раза. За достигнутые успехи АО «УК ТМК» присуждена премия «Алтын Сапа» в номинации «Лучшие инновации - 2014».

На протяжении последних 18 лет сотрудничества с военным государственным концерном казахстанский губчатый титан поставлялся индийской компании «Midhani». В 2019 году подписан меморандум о создании совместного предприятия с компанией «Midhani» по производству титановых медицинских имплантов в Казахстане с реализацией их на индийском рынке. В августе 2020 года АО «УК ТМК» увеличил свой доход на 40%. В том же году подписан меморандум с компанией «IREL» о создании еще одного совместного казахстанско-индийского предприятия для строительства завода по производству титанового шлака в Индии. В 2021 году заключен долгосрочный контракт на поставку титана со сроком до 30 лет с американской компанией «Timet», специализирующейся на производстве титановых изделий для промышленного, оборонного и коммерческого аэрокосмических рынков.

При финансовой и материальной поддержке АО «УК ТМК» в Восточно-Казахстанском государственном университете (ВКГУ) им. Д. Серикбаева разрабатывается технология производства высокочистых и доступных по цене биосовместимых медицинских суставных и зубных имплантантов с применением титановой продукции СП «УКАД».

Для увеличения мощностей производства титановой продукции построена вторая обогатительная фабрика на месторождении «Сатпаевское» с полным

обновлением технологического оборудования и вторая руднотермическая электродуговая печь для выплавки титановых шлаков и чугуна из ильменитовых концентратов.

Выполнением производственных задач комбината в АО «ИМиО» разработаны коммерчески привлекательные инновационные технологии окислительно-содовой термоконверсии (Кенжалиев Б.К. и др., 2019) и содово-силикатной карботермической плавки не приемлемых для переработки традиционными методами обогащения казахстанских ильменитовых концентратов с получением высококачественной титановой продукции и легированного чугуна, решающие проблему сокращения себестоимости производства металлического титана аэрокосмического назначения. Решением проблемы утилизации крупнотоннажных экологически опасных техногенных отходов Павлодарского алюминиевого завода (ПАЗ АО «Алюминий Казахстана») разработана технология комплексного извлечения ценных компонентов с получением обогащенного до 58,4-66,7% концентрата диоксида титана, превосходящего по качеству ильменитовые концентраты отечественных горно-обогатительных предприятий (Ата Аксіл и др., 2018, 145-151).

### **Заключение**

1. Окислительно-восстановительный обжиг труднообогатимых полиминеральных ильменитовых концентратов с промежуточной магнитной сепарацией и рафинированием огарка регенерированной азеотропной соляной кислотой при атмосферном давлении является предпочтительным процессом производства синтетического рутила.

2. Окислительный обжиг с магнитной сепарацией в сочетании с карботермической плавкой гемойльменитовых концентратов обеспечивает получение титанового шлака, реализуемого производителям диоксида титана сернокислотным методом. Повторным пиро-гидрометаллургическим обогащением кислоторастворимого шлака получают модифицированный шлак, соответствующий по качеству синтетическому рутилу.

3. Получение титанового шлака, приемлемого для производства титановой губки аэрокосмического назначения, достигается одностадийной восстановительной плавкой антрацитовой смеси необожженных низко- и высокосортного ильменитовых концентратов.

4. Новые процессы переработки ильменитовых концентратов карботермическим азотированием и окислительно-содовой термоконверсии позволяют сократить материальные и энергетические затраты, утилизации крупнотоннажных техногенных отходов алюминиевых предприятий с получением богатых титановых концентратов расширить сырьевую базу и улучшить экологию окружающей среды.

*Исследования выполнены в рамках грантового проекта № AP19677721 на 2023-2025 гг. при финансовой поддержке Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан.*

### Литература

Akhmetova K.Sh., Kenzhaliev B.K., Trebukhov S.A., Nitsenko A.V., Burabaeva N.M. Achievements in the titanium production development // *Metalurgija* – 2020. – Vol.59. – Iss.4. – P. 567-570. <https://hrcaak.srce.hr/241220> (in Eng.).

Ata Akcil, Nazym Akhmediyeva, Rinat Abdulvaliyev, Abhilash and Pratima Meshram Overview On Extraction and Separation of Rare Earth Elements from Red Mud: Focus on Scandium // *Mineral processing and extractive metallurgy review* 2018, VOL. 39, NO. 3, 145–151 <https://doi.org/10.1080/08827508.2017.1288116>

Boyd T.L. The United States of America Country Update // *Proceedings World Geothermal Congress. Melbourne, Australia, International Geothermal Association, 2015* - P. 12

Vanadium Redox Flow Battery (VRB) Global Market Report 2024 Opportunities-challenges <https://medium.com/@heshihui/vanadium-redox-flow-battery-vrb-global-market-report-2024-market-opportunities-challenges-3494a5a72bde>

Global titanium minerals reserves 2010-2023, by type /Published by Statista Research Department, Mar 26, 2024. <https://www.statista.com/statistics/759972/mine-production-titanium-minerals-worldwide-by-country/>, Electronic resource Date of access: 04/05/24.

G.E. Williams and J.D. Steenkamp Heavy Mineral Processing at Richards Bay Minerals // *The Journal of The South African Institute of Mining and Metallurgy*, Johannesburg, 5-8 March 2006, P. 181- 188. *Southern African Pyrometallurgy 2006*, Edited by R.T. Jones. <https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2020.105250> ...

Д.С. Сайранбаев, А.А. Шаймерденов, А.М. Аханов, П.П. Сильнягин, Ш.Х. Гизатулин, Б.Б. Шакиров, С.В. Ударцев Теплофизический анализ облучательного эксперимента образцов бериллида титана в реакторе ВВР-К // *Recent Contributions to Physics–2023*. –№1. –С. 65-71. [doi.org/10.26577/RCPH.2023.v84.i1.08](https://doi.org/10.26577/RCPH.2023.v84.i1.08)

E.A. Walpole and J.D. Winter The Austpac ERVS and EARS Processes for the Manufacture of High-Grade Synthetic Rutile by Hydrochloric Acid Leaching of Ilmenite // Paper presented at «Chloride Metallurgy 2002 – International Conference on the Practice and Theory of Chloride /Metal Interaction», Montreal, October 2002. – P.1-13.

<https://austpacresources.com/pdfs/techpub/EJW%20Paper%20Oct%202002.pdf>

Jaco Johannes Swanepoel Process Development for the Removal of Iron from Nitrated Ilmenite / Submitted in partial fulfilment of the requirements for the degree of MASTER OF ENGINEING (Chem Eng) in the Department of chemical engineering faculty of engineering, Built Environment & Information technology, University of Pretoria, Pretoria, October 2010. – 151 p.

J.J. Swanepoel, D.S. van Vuuren, and M. Heydenrych Leachability of nitrated ilmenite in hydrochloric acid // *The Journal of The Southern African Institute of Mining and Metallurgy*.– V. 111.– March 2011.– P. 137-140.

Kiran Pulidindi, Kunal Ahuja Aerospace Titanium Market / Global Share Report, 2023-2032, February 2023, P 355. <https://www.gminsights.com/ru/industry-analysis/aerospace-titanium-market> Электронный ресурс, дата обращения 12.06. 2024.

Мендебаев Т.Н. Геотермальная энергетика, ресурсы в Казахстане и технологические схемы их освоения // *Новости науки Казахстана*.–2017.–№3(133).–С. 57-67. <http://vestnik.nauka.kz/wp-content/uploads/2017/09/4-...>

Madhumitha Jaganmohan Forecast share of global titanium demand for energy by technology 2050, May 3, 2024 //Titanium energy demand forecast by industry 2050, Электронный ресурс <https://www.statista.com/statistics/1230044/global-titanium-energy-demand-share-forecast-by-technology/>

Michel Guéguin, François Cardarelli Chemistry and mineralogy of titania-rich slags. Part 1– Hem-ilmenite, sulphate, and upgraded titania slags // *Mineral Processing & Extractive Metall. Rev.*, 28: 1-58, 2007 DOI: 10.1080/08827500600564242

Омирсериков М.Ш., Антоненко А.А., Перезовов С.В. Месторождения титана и магния Казахстана и перспективы развития их ресурсов // *Сборник докладов к круглому столу «Современное научно-техническое состояние и перспективы развития титано-магниевого производства в Казахстане»*, 19 февраля 2016, С.42-47.

Патент RU 2 780 235 Способ получения крупногабаритных заготовок и изделий из бериллида

титана // Аринова И.В. (KZ), Богачёв В.А. (RU), Вечкутов А.Н.(KZ), Зорин Б.Л. (RU), Колмаков М.Г. (RU), Ударцев С.В. (RU), Фоминых Г.Ю. (KZ), Оpub. 21.09.2022., Бюл. № 27. Патентообладатель: Акционерное общество «Ульбинский металлургический завод» (KZ).

Priya Naqrale Titanium Dioxide Market Size & Share /Global Forecast Report 2032, June 2024, P. 185. ID: MRFR/CnM/0575-HCR <https://www.marketresearchfuture.com/reports/titanium-dioxide-market-1081> Электронный ресурс, дата обращения 12.06. 2024.

Патент РК 14206 Способ извлечения ванадия из кислых растворов / Ахметова К.Ш., Кенжалиев Б.К., Шаяхметов Б.М., Койчубаев Б.С., Шашлыкова С.С., опубл. 15.02.2007., бюл. № 2 – 5 с.

Патент РК 34030 Способ переработки ильменитовых концентратов //Кенжалиев Б.К, Ахметова К.Ш., Требухов С.А., Гладышев С.В., Тулеутай Ф.Х., Зиновьева Л.В., Бюл. № 48, опубл. 29.11.2019.

Рынок титана (титановой губки) 2023 [https://www.metalresearch.ru/titanium\\_market.html](https://www.metalresearch.ru/titanium_market.html) Электронный ресурс, дата обращения 12.06. 2024.

## References

Akhmetova K.Sh., Kenzhaliev B.K., Trebukhov S.A., Nitsenko A.V., Burabaeva N.M. Achievements in the titanium production development //Metalurgija – 2020. – Vol.59. – Iss.4. – p. 567-570. <https://hrcaak.srce.hr/241220> (in Eng.).

Ata Akcil, Nazym Akhmediyeva, Rinat Abdulvaliyev, Abhilash and Pratima Meshram Overview On Extraction and Separation of Rare Earth Elements from Red Mud: Focus on Scandium // Mineral processing and extractive metallurgy review 2018, VOL. 39, NO. 3, 145-151 <https://doi.org/10.1080/08827508.2017.1288116>

Boyd T.L. The United States of America Country Update // Proceedings World Geothermal Congress. Melbourne, Australia, International Geothermal Association, 2015 - P. 12

Vanadium Redox Flow Battery (VRB) Global Market Report 2024 Opportunities-challenges <https://medium.com/@heshihui/vanadium-redox-flow-battery-vrb-global-market-report-2024-market-opportunities-challenges-3494a5a72bde>

Global titanium minerals reserves 2010-2023, by type /Published by Statista Research Department, Mar 26, 2024. <https://www.statista.com/statistics/759972/mine-production-titanium-minerals-worldwide-by-country/>, Electronic resource Date of access: 04/05/24.

G.E. Williams and J.D. Steenkamp Heavy Mineral Processing at Richards Bay Minerals // The Journal of The South African Institute of Mining and Metallurgy, Johannesburg, 5-8 March 2006, Pp. 181-188. Southern African Pyrometallurgy 2006, Edited by R.T. Jones. <https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2020.105250> ...

D.S. Sairanbayev, A.A. Shaimerdenov, A.M. Akhanov, P.P. Silnyagin, Sh.Kh. Gizatulina, B.B. Shakirov, S.V. Udartsev Thermophysical analysis of irradiation experiment of titanium beryllium samples in the VVR-K reactor // Recent Contributions to Physics 2023. No. 1. pp. 65-71. [doi.org/10.26577/RCPh.2023.v84.i1.08](https://doi.org/10.26577/RCPh.2023.v84.i1.08)

E.A. Walpole and J.D. Winter The Austpac ERVS and EARS Processes for the Manufacture of High-Grade Synthetic Rutile by Hydrochloric Acid Leaching of Ilmenite // Paper presented at «Chloride Metallurgy 2002 – International Conference on the Practice and Theory of Chloride /Metal Interaction», Montreal, October 2002. P.1-13.

<https://austpacresources.com/pdfs/techpub/EJW%20Paper%20Oct%202002.pdf>

Jaco Johannes Swanepoel Process Development for the Removal of Iron from Nitrided Ilmenite / Submitted in partial fulfilment of the requirements for the degree of MASTER OF ENGINEERING (Chem Eng) in the Department of chemical engineering faculty of engineering, Built Environment & Information technology, University of Pretoria, Pretoria, October 2010. – 151 p.

J.J. Swanepoel, D.S. van Vuuren, and M. Heydenrych Leachability of nitrided ilmenite in hydrochloric acid // The Journal of The Southern African Institute of Mining and Metallurgy.– V. 111.– March 2011.– P. 137-140.

Kiran Pulidindi, Kunal Ahuja Aerospace Titanium Market / Global Share Report, 2023-2032, February 2023, P 355.

<https://www.gminsights.com/ru/industry-analysis/aerospace-titanium-market> Electronic resource, accessed 12.06.2024.

Mendebaev T.N. Geothermal energy, resources in Kazakhstan and technological schemes of their development // News of science of Kazakhstan. 2017. No.3(133). pp. 57-67. <http://vestnik.nauka.kz/wp-content/uploads/2017/09/4-...>

Madhumitha Jaganmohan Forecast share of global titanium demand for energy by technology 2050, May 3, 2024 // Titanium energy demand forecast by industry 2050, Electronic resource <https://www.statista.com/statistics/1230044/global-titanium-energy-demand-share-forecast-by-technology/>

Michel Guéguin, François Cardarelli Chemistry and mineralogy of titania-rich slags. Part 1 – Hemilmenite, sulphate, and upgraded titania slags // Mineral Processing & Extractive Metall. Rev., 28: 1-58, 2007 DOI: 10.1080/08827500600564242

Omirserikov M.Sh., Antonenko A.A., Perevozov S.V. Deposits of titanium and magnesium in Kazakhstan and prospects for the development of their resources // Collection of reports for the round table “Modern scientific and technical condition and prospects for the development of titanium-magnesium production in Kazakhstan”, February 19, 2016, pp.42-47.

Patent RU 2 780 235 A method for obtaining large-sized blanks and products from titanium beryllium // Arinova I.V. (KZ), Bogachev V.A. (RU), Vechkutov A.N.(KZ), Zorin B.L. (RU), Kolmakov M.G. (RU), Udartsev S.V. (RU), Fomin G.Y. (KZ), Pub. 09/21/2022., Office No. 27. Patent Holder: Ulba Metallurgical Plant Joint Stock Company (KZ).

Priya Naqrале Titanium Dioxide Market Size & Share /Global Forecast Report 2032, June 2024, P. 185. ID:MRFR/CnM/0575-HCR <https://www.marketresearchfuture.com/reports/titanium-dioxide-market-1081> Electronic resource, accessed 12.06.2024.

Patent RK 14206 Method for extracting vanadium from acidic solutions / Akhmetova K.Sh., Kenzhaliev B.K., Shayakhmetov B.M., Koichubaev B.S., Shashlykova S.S., publ. 02/15/2007., byul. No. 2 – 5 p .

Patent RK 34030 Method of processing ilmenite concentrates //Kenzhaliev B.K., Akhmetova K.Sh., Trebukhov S.A., Gladyshev S.V., Tuleutai F.H., Zinovieva L.V., Byul. No. 48, publ. 11/29/2019.

Titanium (Titanium Sponge) Market 2023 [https://www.metalresearch.ru/titanium\\_market.html](https://www.metalresearch.ru/titanium_market.html) Electronic resource, accessed 12.06.2024.

CONTENTS

CHEMISTRY

- K.Sh. Akhmetova, B.K. Kenzhaliev, S.V. Gladyshev\*, N.K. Akhmadieva, L.M. Imangalieva**  
GLOBAL INNOVATIONS IN EXTRACTIVE METALLURGY OF TITANIUM.....5
- O.K. Beisenbayev, B.M. Smailov, S.A. Sakibayeva, A.B. Issa, A.Sh. Kydyralieva**  
PRODUCTION AND RESEARCH OF HIGH-STRENGTH STRUCTURED FERTILIZERS BASED ON TECHNOGENIC WASTE.....27
- A.S. Dautbayev, K.A. Kadirbekov, S.O. Abilkasova, L.M. Kalimoldina**  
APPLICATION OF ULTRAFLOCCULATION METHOD FOR PURIFICATION OF RECYCLING SOLUTIONS IN URANIUM MINING INDUSTRIES.....42
- B.I. Dikhanbaev, A.B. Dikhanbaev, K.T. Baubekov, S.B. Ybray**  
CREATION OF AN ENERGY-EFFICIENT UNIT FOR CLINKER PROCESSING AT ACHISAI MINE.....53
- N.B. Zhumadilda, N.G. Gemejiyeva, A.O. Sapieva, Zh.Zh. Karzhaubekova, N.A. Sultanova**  
LIPOPHILIC COMPONENTS OF HEDYSARUM SONGORICUM BONG. HERBS.....68
- B. Imangaliyeva, B. Dossanova, B. Torsykbayeva, I. Nurlybaev, N. Sultanov**  
SYNTHESIS OF GLYCYRRHIZIC ACID FROM THE ROOTS OF THE PLANT "RED LICORICE" AND THE STUDY OF CHEMICAL PROPERTIES.....83
- L.M. Kalimoldina, S.O. Abilkasova, M.A. Kozhaisakova, Zh.R. Syrymova, A.A. Sultanayeva**  
THE PROSPECT OF USING POLYMER BITUMEN TO IMPROVE THE QUALITY AND SAFETY OF ROAD INFRASTRUCTURE.....101
- Zh.S. Kassymova, N.N. Berikbol, V.I. Markin, L.K. Orazzhanova, A.S. Seitkan**  
PRODUCTION OF SODIUM CARBOXYMETHYLCELLULOSE FROM PINE WOOD WASTE AND INVESTIGATION OF ITS PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES.....113
- B.K. Kenzhalyiev, A.K. Koizhanova, T. A. Chepushtanova, A.O. Mukangaliyeva, D.R. Magomedov**  
INNOVATIVE METHODS FOR PROCESSING COPPER ORES IN KAZAKHSTAN: A COMPREHENSIVE APPROACH TO ENHANCING THE EFFICIENCY OF VALUABLE COMPONENT EXTRACTION.....124

<b>M.M. Mataev, A.M. Madiyarova, G.S. Patrin, M.R. Abdraimova, M.A. Nurbekova</b> SYNTHESIS AND PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES OF A NEW COMPLEX FERRITE.....	137
<b>N. Merkhatuly, A.N. Iskanderov, S.B. Abeuova, A.N. Iskanderov, S.K. Zhokizhanova, N.G. Atamkulova</b> INCLUSION OF AZULENE STRUCTURAL UNITS IN THE BASIS OF CONJUGATED POLYMERS: IMPROVEMENT OF PROTON SENSITIVITY AND FLUORESCENCE.....	147
<b>A.N. Nefedov, A.K. Akurpekova, A.T. Taikenova, S.A. Kurguzikova, D.K. Beisenbaev</b> DETERMINATION OF AMINE CONCENTRATION BY POTENTIOMETRIC AND CONDUCTOMETRIC TITRATION METHODS.....	160
<b>M. Toktarbek, G.A. Seitimova, G.Sh. Burasheva</b> OPTIMISATION METHOD FOR OBTAINING A BIOLOGICALLY ACTIVE SUBSTANCES FROM THE PLANT PETROSIMONIA BRACHIATA.....	175
<b>M.T. Turdiyev, B.K. Kasenov, A. Nukhuly, Zh.I. Sagintaeva, Sh.B. Kasenova, E.E. Kuanyshbekov, M. Stoev</b> SYNTHESIS AND RADIOGRAPHY OF NEW ZIRCON-MANGANITES OF LANTHANUM AND ALKALINE EARTH METALS AND CALCULATION OF THEIR THERMODYNAMIC PROPERTIES.....	186

## МАЗМҰНЫ

### ХИМИЯ

- К.Ш. Ахметова, Б.К. Кенжалиев, С.В. Гладышев, Н.К. Ахмадиева, Л.М. Имангалиева**  
 ТИТАН МЕТАЛЛУРГИЯСЫНДАҒЫ ӘЛЕМДІК ИННОВАЦИЯЛАР.....5
- О.К. Бейсенбаев, Б.М. Смайлов, С.А. Сакибаева, А.Б. Иса, А.Ш. Кыдыралиева**  
 ТЕХНОГЕНДІК ҚАЛДЫҚТАР НЕГІЗІНДЕГІ ЖОҒАРЫ БЕРІКТІ ҚҰРЫЛЫМДЫ ТЫҢАЙТҚЫШТАРДЫ АЛУ ЖӘНЕ ЗЕРТТЕУ.....27
- Ә.С. Дәулетбаев, К.А. Кадирбеков, С.О. Абилқасова, Л.М. Калимолдина, А.Д. Алтынбек**  
 УРАН ӨНДІРІСІНДЕГІ ҚАЙТАРЫМДЫ ЕРІТІНДІЛЕРДІ ТАЗАЛАУ ҮШІН УЛЬТРАФЛОКУЛЯЦИЯЛЫҚ ӘДІСТІ ҚОЛДАНУ.....42
- Б.И. Диханбаев, А.Б. Диханбаев, К.Т. Баубек, С.Б. Ыбрай**  
 АЩЫСАЙ КЕНІШІНІҢ КЛИНКЕРІН ӨНДЕУ ҮШІН ЭНЕРГИЯ ҮНЕМДЕЙТІН ҚОНДЫРҒЫНЫ ҚҰРУ.....53
- Н.Б. Жұмаділда, Н.Г. Гемеджиева, А.О. Сәпиева, Ж.Ж. Қаржаубекова, Н.А. Сұлтанова**  
*HEDYSARUM SONGORICUM* BONG. ӨСІМДІГІНІҢ ЛИПОФИЛЬДІ ҚҰРАМДАС БӨЛІКТЕРІ.....68
- Б. Имангалиева, Б. Досанова, Б. Торсықбаева, И. Нурлыбаев, Н. Сұлтанов**  
 “ҚЫЗЫЛ МИЯ” ӨСІМДІГІНІҢ ТАМЫРЫНАН ГЛИЦИРРИЗИН ҚЫШҚЫЛЫН СИНТЕЗДЕУ ЖӘНЕ ХИМИЯЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІН ЗЕРТТЕУ.....83
- Л.М. Калимолдина, С.О. Әбілқасова, М.А. Қожайсақова, Ж.Р. Сырымова, А.Ә. Сұлтанова**  
 ЖОЛ ИНФРАҚҰРЫЛЫМЫНЫҢ САПАСЫ МЕН ҚАУІПСІЗДІГІН АРТТЫРУ ҮШІН ПОЛИМЕР БИТУМЫН ПАЙДАЛАНУ ПЕРСПЕКТИВАСЫ.....101
- Ж.С. Касымова, Н.Н. Берікбол, В.И. Маркин, Л.К. Оразжанова, А.С. Сейтқан**  
 ҚАРАҒАЙ АҒАШЫНЫҢ ҚАЛДЫҚТАРЫНАН НАТРИЙ КАРБОКСИМЕТИЛЩЕЛЛЮЛОЗА АЛУ ЖӘНЕ ОНЫҢ ФИЗИКА-ХИМИЯЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІН ЗЕРТТЕУ.....113

- Б.К. Кенжалиев, А.К. Койжанова, Т.А.Чепуштанова, А.Ө. Мұқанғалиева, Д.Р. Магомедов**  
ҚАЗАҚСТАНДАҒЫ МЫС КЕҢДЕРІН ӨҢДЕУДІҢ ИННОВАЦИЯЛЫҚ ӨДІСТЕРІ: ҚҰНДЫ КОМПОНЕНТТЕРДІ АЛУДЫҢ ТИІМДІЛІГІН АРТТЫРУҒА КЕШЕНДІ КӨЗҚАРАС.....124
- М.М. Матаев, А.М. Мадиярова, Г.С. Патрин, М.Р. Абдраймова, М.А. Нурбекова**  
ЖАҢА КҮРДЕЛІ ФЕРРИТТІҢ СИНТЕЗІ ЖӘНЕ ФИЗИКА-ХИМИЯЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІ.....137
- Н. Мерхатулы, А.Н. Искандеров, С.Б. Абеуова, А.Н. Искандеров, С.К. Жокижанова, Н.Г. Атамкулова**  
ҚОСАРЛАНҒАН ПОЛИМЕРЛЕРДІҢ НЕГІЗІНЕ АЗУЛЕНДІК ҚҰРЫЛЫМДЫҚ БІРЛІКТЕРДІ ҚОСУ: ПРОТОНҒА СЕЗІМТАЛДЫҚ ПЕН ФЛУОРЕСЦЕНЦИЯНЫ ЖАҚСARTУ.....147
- А.Н. Нефедов, А.К. Акурпекова, А.Т. Тайекенова, С.А. Кургузикова, Д.К. Бейсенбаев**  
ПОТЕНЦИОМЕТРИЯЛЫҚ ЖӘНЕ КОНДУКТОМЕТРИЯЛЫҚ ТИТРЛЕУ ӨДІСТЕРІМЕН АМИН КОНЦЕНТРАЦИЯСЫН АНЫҚТАУ.....160
- М. Тоқтарбек, Г.А. Сейтимова, Г.Ш. Бурашева**  
*PETROSIMONIA BRACHIATA* ӨСІМДІГІНЕН БИОЛОГИЯЛЫҚ БЕЛСЕНДІ ЗАТТАРДЫ АЛУ ӨДІСІН ОҢТАЙЛАНДЫРУ.....175
- М.Т. Турдиев, Б.Қ. Қасенов, А. Нұхұлы, Ж.И. Сағынтаева, Ш.Б. Қасенова, Е.Е. Қуанышбеков, М. Стоев**  
ЖАҢА ЛАНТАН ЖӘНЕ СІЛТІЛІ-ЖЕР МЕТАЛДАРЫ ЦИРКОН МАНГАНИТТЕРІНІҢ СИНТЕЗІ МЕН РЕНТГЕНОГРАФИЯСЫ ЖӘНЕ ОЛАРДЫҢ ТЕРМОДИНАМИКАЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІН ЕСЕПТЕУ.....186

СОДЕРЖАНИЕ

ХИМИЯ

**К.Ш. Ахметова, Б.К. Кенжалиев, С.В. Гладышев, Н.К. Ахмадиева, Л.М. Имангалиева**  
МИРОВЫЕ ИННОВАЦИИ ЭКСТРАКТИВНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ ТИТАНА.....5

**О.К. Бейсенбаев, Б.М. Смайлов, С.А. Сакибаева, А.Б. Иса, А.Ш. Кыдыралиева**  
ПОЛУЧЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ВЫСОКОПРОЧНЫХ СТРУКТУРИРОВАННЫХ УДОБРЕНИЙ НА ОСНОВЕ ТЕХНОГЕННЫХ ОТХОДОВ.....27

**А.С. Даулетбаев, К.А. Кадирбеков, С.О. Абилкасова, Л.М. Калимолдина, А.Д. Алтынбек**  
ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА УЛЬТРАФЛОКУЛЯЦИИ ДЛЯ ОЧИСТКИ ОБОРОТНЫХ РАСТВОРОВ В УРАНОДОБЫВАЮЩИХ ПРОМЫШЛЕННОСТЯХ.....42

**Б.И. Диханбаев, А.Б. Диханбаев, К.Т. Баубеков, С.Б. Ыбрай**  
СОЗДАНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОГО АГРЕГАТА ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ КЛИНКЕРА РУДНИКА «АЧИСАЙ».....53

**Н.Б. Жумадильда, Н.Г. Гемеджиева, А.О. Сапиева, Ж.Ж. Каржаубекова, Н.А. Султанова**  
ЛИПОФИЛЬНЫЕ КОМПОНЕНТЫ ТРАВЫ HEDYSARUM SONGORICUM BONG.....68

**Б. Имангалиева, Б. Досанова, Б. Торсыкбаева, И. Нурлыбаев, Н. Султанов**  
СИНТЕЗ ГЛИЦИРРИЗИНОВОЙ КИСЛОТЫ ИЗ КОРНЕЙ РАСТЕНИЯ «КРАСНАЯ СОЛОДКА» И ИЗУЧЕНИЕ ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ.....83

**Л.М. Калимолдина, С.О. Абилкасова, М.А. Кожайсакова, Ж.Р. Сырымova, А.А. Султанаева**  
ПЕРСПЕКТИВА ПРИМЕНЕНИЯ ПОЛИМЕРНОГО БИТУМА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА И БЕЗОПАСНОСТИ ДОРОЖНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ.....101

- Ж.С. Касымова, Н.Н. Берикбол, В.И. Маркин, Л.К. Оразжанова, А.С. Сейткан**  
ПОЛУЧЕНИЕ НАТРИЙ КАРБОКСИМЕТИЛЦЕЛЛЮЛОЗЫ ИЗ ОТХОДОВ ДРЕВЕСИНЫ СОСНЫ И ИЗУЧЕНИЕ ЕЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ.....113
- Б.К. Кенжалиев, А.К. Койжанова, Т.А.Чепуштанова, А.О. Муқанғалиева, Д.Р. Магомедов**  
ИННОВАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ПЕРЕРАБОТКИ МЕДНЫХ РУД В КАЗАХСТАНЕ: КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К ПОВЫШЕНИЮ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ЦЕННЫХ КОМПОНЕНТОВ.....124
- М.М. Матаев, А.М. Мадиярова, Г.С. Патрин, М.Р. Абдраймова, М.А. Нурбекова**  
СИНТЕЗ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НОВОГО СЛОЖНОГО ФЕРРИТА.....137
- Н. Мерхатулы, А.Н. Искандеров, С.Б. Абеуова, А.Н. Искандеров, С.К. Жокижанова, Н.Г. Атамкулова**  
ВКЛЮЧЕНИЕ АЗУЛЕНОВЫХ СТРУКТУРНЫХ ЕДИНИЦ В ОСНОВУ СОПРЯЖЕННЫХ ПОЛИМЕРОВ: УЛУЧШЕНИЕ ПРОТОННОЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ И ФЛУОРЕСЦЕНЦИИ.....147
- А.Н. Нефедов, А.К. Акурпекова, А.Т. Тайкенова, С.А. Кургузикова, Д.К. Бейсенбаев**  
ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ АМИНОВ МЕТОДАМИ ПОТЕНЦИОМЕТРИЧЕСКОГО И КОНДУКТОМЕТРИЧЕСКОГО ТИТРОВАНИЯ.....160
- М. Токтарбек, Г.А. Сейтимова, Г.Ш. Бурашева**  
СПОСОБ ОПТИМИЗАЦИИ ПОЛУЧЕНИЯ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ ИЗ РАСТЕНИЯ *PETROSIMONIA BRASILIATA*.....175
- М.Т. Турдиев, Б.К. Касенов, А. Нухулы, Ж.И. Сагинтаева, Ш.Б. Касенова, Е.Е. Куанышбеков, М. Стоев**  
СИНТЕЗ И РЕНТГЕНОГРАФИЯ НОВЫХ ЦИРКОНО-МАНГАНИТОВ ЛАНТАНА И ЩЕЛОЧНОЗЕМЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛОВ И РАСЧЕТ ИХ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ.....186

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

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

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

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

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

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

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

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

Правила оформления статьи для публикации в журнале смотреть на сайтах:

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

**<http://chemistry-technology.kz/index.php/en/arhiv>**

**ISSN 2518-1491 (Online), ISSN 2224-5286 (Print)**

Директор отдела издания научных журналов НАН РК *А. Ботанқызы*

Редакторы: *Д.С. Аленов, Ж.Ш. Әден*

Верстка на компьютере *Г.Д. Жадырановой*

Подписано в печать 30.09.2024.

Формат 60x88<sup>1</sup>/<sub>8</sub>. Бумага офсетная. Печать – ризограф.

13,0 п.л. Тираж 300. Заказ 3.