ISNN 3030-3907

2026/3
VOLUME 6

DEVELOPMENT OF SCIENCE

ILMIY JURNAL



Development of science

Ilmiy jurnal

2026/3 VOLUME 6

ISSN 3030 -3907

Ilmiy jurnal OAK rayosatining 2024 yil 27 sentabrdagi 361-son qaroriga asosan 02.00.00 kimyo fanlari hamda 2025 yil 12 fevral 367- son qaroriga asosan 05.00.00 texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD) va fan doktori (DSc) ilmiy darajasiga talabgorlarning dissertatsiya ishlari yuzasidan dissertatsiyalari asosiy ilmiy natijalarini chop etish tavsiya etilgan milliy ilmiy nashrlar ro‘yxatiga kiritilgan.

BOSH MUHARRIR:
Temirov Alisher Hoshim o‘g‘li – texnika fanlari falsafa doktori (PhD),Dotsent.
TAHRIRIYAT KENGASH RAISI:
Fozilov Sadriddin Fayzullayevich – texnika fanlari doktori, professor
TAHRIRIYAT KENGASH A’ZOLARI

TEXNIKA FANLARI/ TECHNICAL SCIENCES/ ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Bozorov G‘ayrat Rashidovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Abdurahmonov Olim Rustamovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Adizov Bobur Zamirovich
O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Umumiy va noorganik kimyo instituti, professor
Hayitov Ruslan Rustamjonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Jumayev Qayum Karimovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Berdiyev Dorob Murodovich
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti, professor
Maxmudov Rafiq Amonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Tilloyev Lochin Ismatilloyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Raxmonov Qahramon Sanakulovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Barakayev Nusratullo Rajabovich
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti, professor.
Jo‘rayev Xayrullo Fayziyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Panoyev Erali Rajabboyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Ataullayev Sherzod Nabiullyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Murodov Malik Negmurodovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Axmedova Ozoda Bahronovna
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti.
Safarov Bahri Jumayevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Xaydarov Axtam Amonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Safarov Jasur Alijon o‘g‘li
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Асадова Раъно Дилмуратовна
Тошкент Давлат техника университети доценти

KIMYO FANLARI/ CHEMICAL SCIENCES/ ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Axmedov Voxid Nizomovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Umarov Baqo Bafoyevich
Buxoro Davlat Universiteti, professor
Kodirov Abduaxad Abduraximovich
Qarshi davlat Universiteti, professor
Qurbonov Mingniqul Jumagulovich
Qarshi davlat Universiteti, dotsent
Turemuratov Sharibay Naurizbaevich
O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Qoraqalpog‘iston bo‘limi Bosh ilmiy kotibi, professor
Tursunov Kaxor Shonazarovich
Qarshi davlat Universiteti, professor
Do‘stov Hamro
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Panoyev Nodir Shavkatovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Olimov Bobur Bahodir o‘g‘li
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Kasimov Sherzod Abduazimovich
Termiz Davlat Universiteti, professor.
Aliqulov Rustam Valiyevich
Termiz Davlat Universiteti, professor
Tropov Xamza Tursunovich
Samarqand Davlat Universiteti, professor

IQTISODIYOT FANLARI/ ECONOMICS/ ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Nizamov Aslitdin Badreddinovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Boboyev Akmal Choriyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Ergashxojayeva Shaxnoza Djasurovna
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, professor
Saidaxmedova Nodira Ilxomovna
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, professor
Muxsinov Bekzod Toxirovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Shakarov Qulmat Ashirovich
Renessans ta'lim universiteti,dotsent.
Jumaeva Zulfiya Qayumovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Norova Salomat Yusupovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Avezova Shaxnoza Maxmudjonovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Jalilov Jamshid G‘anijonovich
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, dotsent
Xasanova Gulruh Djumanazarovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.

PEDAGOGIKA FANLARI/ PEDAGOGICAL SCIENCES / ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

Siddiqova Sadoqat G‘afforovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Zoyirov Erkin Xalilovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, DSc, professor
Gaffarov Feruz Hasanovich
Puchon Universiteti, *professor*
Ruziyev Davron Yuldashevich
Buxoro Davlat Universiteti, professor
Muradova Firuza Rashidovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Yunusova Gulandon Samiyevna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
To‘xtayeva Zebo Sharifovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Navro‘zova Gulchixra Nigmatovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Uzoqova Laylo Polvonovna
Buxoro muhandislik – texnologiya instituti, dotsent.
To‘raqulova Marjona Qiyom qizi
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Muradova Zarina Rashidovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Murodov Sanjar Aslonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Shodiyev Jahongir Jo‘raqulovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent
Gaffarov Laziz Hasanovich
Buxoro muhandislik – texnologiya instituti, dotsent.

Tahririyat a’zolarning to‘liq ro‘yxati jurnalning www.devos.uz saytida keltirilgan.

Tahririyat hay’ati a’zolarining tarkibini o‘zgartirish hamda qo‘shimcha kiritish yoki tahririyat a’zoligidan chiqarish bosh muharrir tomonidan amalga oshiriladi.

ISSN 3030-3907

Development of science ilmiy jurnali 2024 yil 15 aprel kuni №256445 sonli guvohnoma bilan Davlat ro‘yxatidan o‘tgan.

To‘plam elektron ko‘rinishda (pdf formatida) mualliflarga taqdim etiladi. To‘plamga kiritiladigan maqolalarning mazmuni, ulardagi statistik ma’lumotlar va me’yoriy hujjatlarning to‘g‘riligiga hamda har qanday fikr - mulohazalarga mualliflarning o‘zlari mas’ul hisoblanadilar. Talablarga javob bermaydigan maqolalar to‘plamga kiritilmaydi. Tashkiliy qo‘mita maqola matnini qisqartirish, qisman tuzatish kiritish, seksiyalarga joylashtirish huquqiga ega.

ISSN 3030-3907

ОБЗОР ПОЛУЧЕНИЯ КРЕМНИЯ ИЗ ВТОРИЧНЫХ ИСТОЧНИКОВ И ЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЕ В РАЗЛИЧНЫХ ОТРАСЛЯХ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Насриддинов Элдор Яминович
Докторант Бухарский государственный технический университет,
Республика Узбекистан, г. Бухара
E-mail: narzullaeva.aziza@yandex.ru
Нарзуллаева Азиза Муродиллаевна
Д-р филос. тех. наук(PhD), доц, Бухарский государственный технический университет,
Республика Узбекистан, г. Бухара
E-mail: narzullaeva.aziza@yandex.ru

Аннотация. В последние годы природные глинистые минералы привлекают все больше внимания благодаря своей уникальной структуре, экономичности и большим запасам. Как правило, процесс магнезиального восстановления позволяет эффективно восстанавливать природные глинистые минералы до кремния с высоким выходом продукта, в результате чего получается хорошо структурированный кремний, который можно использовать для получения кремниевых наноматериалов с определенной морфологией и микроструктурой.

Ключевые слова: кремний, силикатное сырьё, адсорбент, экология, очистка воды, нанокомпозит, металл, серпентин, отходы, кремневая крошка, пористая структура, технология, синтез.

Annotatsiya. So'nggi yillarda tabiiy gil minerallari o'zining noyob tuzilishi, iqtisodiy samaradorligi va katta zaxiralari tufayli tobora ko'proq e'tiborni tortmoqda. Odatda, magniyni qayta tiklash jarayoni tabiiy loy minerallarini yuqori hosil bilan kremniyga samarali qayta tiklash imkonini beradi, natijada o'ziga xos morfologiya va mikrotuzilishga ega kremniy nanomateriallarini ishlab chiqarish uchun ishlatilishi mumkin bo'lgan yaxshi tuzilgan kremniy hosil bo'ladi.

Kalit so'zlar: kremniy, silikat xom ashyosi, adsorbent, ekologiya, suvni tozalash, nanokompozit, metall, serpantin, chiqindilar, kremniy chiplari, g'ovakli tuzilish, texnologiya, sintez.

Annotation. In recent years, natural clay minerals have attracted increasing attention due to their unique structure, economic efficiency, and large reserves. Typically, the magnesia reduction process allows for the efficient reduction of natural clay minerals to silicon with high yields, resulting in well-structured silicon that can be used to produce silicon nanomaterials with specific morphology and microstructure.

ISSN 3030-3907

Keywords: silicon, silicate raw materials, adsorbent, ecology, water purification, nanocomposite, metal, serpentine, waste, silica chips, porous structure, technology, synthesis.

ВВЕДЕНИЕ.

Одной из самых острых экологических проблем на сегодняшний день является химическое загрязнение водных экосистем, угрожающее устойчивому развитию и здоровью населения во всем мире [1, 2]. Эта проблема во многом связана с неконтролируемым сбросом сточных вод горнодобывающей, сельскохозяйственной и промышленной отраслей [3, 4]. Среди этих загрязняющих веществ особенно выделяются токсичные ионы тяжелых металлов (ТМ), которые не разлагаются и химически стабильны [5,6]. Они накапливаются в пищевой цепи и биомагнифицируются, нанося вред водным организмам и человеку. Даже следовые количества свинца, кадмия, ртути и мышьяка вызывают нейротоксичность, нефротоксичность, иммунотоксичность и канцерогенность [7, 8]. Кадмий (Cd^{2+}) и свинец (Pb^{2+}) — одни из самых опасных загрязнителей тяжелыми металлами, из-за чего многие страны вводят строгие ограничения в связи с их высокой токсичностью и повсеместным распространением в окружающей среде [9, 10, 11]. Оба этих вещества считаются приоритетными загрязнителями из-за их стойкости в водной среде, способности к биоаккумуляции и серьезного воздействия на биологические процессы.

Глинистые минералы — это встречающиеся в природе слоистые силикаты, состоящие из тетраэдрических силикатных листов, соединенных с октаэдрическими гидроксидными листами [9, 10]. Их слоистая структура образуется в результате изоморфных замещений, при которых Al^{3+} замещается на Mg^{2+} или Fe^{2+}/Fe^{3+}, что приводит к возникновению постоянного заряда, уравновешиваемого межслоевыми катионами (например, Na^{+}, Ca^{2+}), и обеспечивает высокую катионообменную способность (КОС), необходимую для адсорбции [11, 12, 13]. Глины делятся на филлосиликаты с соотношением слоев 1:1 (каолинит, серпентинит) и 2:1 (монтмориллонит, иллит). Оба типа содержат большое количество реакционноспособных групп (Si–OH, Al–OH, Mg–OH), которые обеспечивают поверхностное комплексообразование и ионный обмен. Благодаря своей распространенности, структурной гибкости и стабильности они являются устойчивыми и эффективными адсорбентами для очистки воды [11, 14, 15].

Ограниченная площадь поверхности и труднодоступность природного серпентинита снижают эффективность его адсорбции тяжелых металлов. В

ISSN 3030-3907

этом исследовании впервые проводится сравнительная эксфолиация богатого магнием серпентинита с использованием ацетата калия (АК) и нитрата калия (НК) для изменения его структуры, химического состава поверхности и адсорбционной активности в отношении Cd^{2+} и Pb^{2+}. Комплексная физико-химическая характеристика (рентгеноструктурный анализ, сканирующая электронная микроскопия, ИК-Фурье-спектроскопия, адсорбция азота и энергодисперсионная рентгеновская спектроскопия) подтвердила, что ацетат-анион действует как координационный и стерический интеркалирующий агент, образуя глубоко расслаивающиеся мезопористые нанолисты (26,3 м²/г, поры 17,2 нм), в то время как при модификации нитратом наблюдалось лишь частичное расширение (17,4 м²/г, 16,7 нм). Испытания на адсорбцию, проведенные при почти нейтральном pH (6-7), диапазоне, минимизирующем осаждение гидроксида, показали заметно более высокое поглощение KC/SP (Q_{sat} = 322).4 мг / г для $Cd2^{+}$; 267,1 мг / г для $Pb2^{+}$), чем для KN / SP. Статистико-физическое моделирование обеспечило интерпретацию в молекулярном масштабе, выявив более высокую плотность сайта (n_m = 76,1 мг / г) и стерический параметр (n > 1) для KC / SP, что свидетельствует о вертикальной многомолекулярной укладке гидратированных ионов и объясняет сродство $Cd2^{+}$ > $Pb2^{+}$. Средние значения энергии адсорбции (ΔE = от −22,9 до −27,5 кДж/моль) подтверждают наличие физической адсорбции в сочетании с ионным обменом, а отрицательные значения энтальпии и энтропии — самопроизвольное экзотермическое связывание с усилением межфазного упорядочения. С точки зрения механизма, координация ацетата с магнием и нарушение межслойных водородных связей из-за стерических препятствий приводят к обширному расслоению, обнажая реакционноспособные гидроксильные группы, которые и определяют адсорбционную способность. Таким образом, одностадийный метод синтеза на основе KC без использования растворителей на водной основе представляет собой экологичный и масштабируемый способ получения высокоэффективных серпентинитовых нанолистов. В этой работе [16] авторами установлена четкая взаимосвязь между структурой, механизмом и функцией и рекомендуется использовать этот подход для многокомпонентных ионных систем и исследований циклической регенерации для экологичной очистки сточных вод. [16]

В другой [17] работе авторами исследована термическая активация серпентина для минеральной карбонизации с использованием электрически нагреваемого псевдоожиженного слоя. Этот этап процесса объединен в новую технологическую конфигурацию с быстрой термической активацией

ISSN 3030-3907

и аккумулированием тепловой энергии. Для исследованных отходов серпентинитового рудника продолжительность термической активации, соответствующая желаемым минералогическим изменениям, составляла < 2 мин при 700 °C, 4–8 мин при 650 °C, 16–75 мин при 600 °C и > 75 мин при 550 °C, что улучшает кинетику реакции по сравнению с обработкой в камерной печи при 650 °C в течение 30 мин или при 750 °C в течение 15 мин. Во всех экспериментах с псевдоожиженным слоем предпочтительные минералогические изменения соответствовали степени дегидроксилирования 52–72 %, определенной с помощью одновременного термического анализа. Фурье-преобразовательный инфракрасный анализатор использовался для онлайн-определения степени дегидроксилирования и мог бы использоваться для управления процессом, если бы задержка измерения считалась оптимальной. Были рассчитаны балансы массы и энергии для промышленной установки термической активации, соответствующей объему хранения 100 000 т CO_2/год. Средняя потребность в электроэнергии составила 17,4 МВт, из которых 22,9 % было получено из пара, а 61,7 % — в силосах для хранения тепловой энергии. Двенадцатичасовое и семидневное буферное время привели к объемам силосов 452,5 м3 и 3167 м^3, а также к емкости хранения тепловой энергии 129,0 МВт·ч и 903,2 МВт·ч соответственно. Дальнейшие исследования должны включать оптимизацию параметров процесса, а также технико-экономическую оценку и оценку жизненного цикла для комплексного улучшения концепции [17].

При крупномасштабном производстве фотоэлектрических элементов образуется большое количество отходов кремния, особенно в виде мелких обрезков, остающихся при нарезке пластин. Это не только наносит вред окружающей среде, но и представляет собой ценный ресурс для переработки в функциональные материалы, такие как аноды для аккумуляторов. В этой статье мы рассказываем об экологичном способе переработки этих отходов в кремний-углеродные композитные аноды с помощью карбонизации под действием фторида аммония (NH_4F) в присутствии графита. При разложении NH_4F образуются активные частицы, которые одновременно протравливают и функционализируют поверхность кремния, улучшая прилегание углеродного покрытия и межфазное сцепление с графитом. В результате образуются композиты с повышенной кулоновской эффективностью первого цикла и скоростью зарядки. Комплексный структурный, морфологический и химический анализ, проведенный с помощью рентгеновской дифракции (XRD), сканирующей и просвечивающей электронной микроскопии

ISSN 3030-3907

(SEM/TEM), рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии (XPS), рамановской спектроскопии и изотермы адсорбции/десорбции N_2, показал, что NH_4F модифицирует поверхность кремния в процессе карбонизации. В работе [18] представлена простая и экологичная стратегия переработки отходов кремниевой крошки в практичные анодные материалы, способствующая сокращению количества отходов и развитию технологий хранения энергии следующего поколения [18].

Целенаправленное уничтожение бактерий с помощью наноматериалов стало популярным решением проблемы устойчивости микроорганизмов к антибиотикам. Перспективным подходом является создание синергетической гибридной структуры, объединяющей наноструктурированные поверхности с массивами нанопроволоки и плазмонными металлическими наночастицами. В рамках этого исследования мы сосредоточились на функционализации кремниевых нанопроволок (SiNW) наночастицами висмута (BiNPs) для создания нового и экономичного антибактериального средства. Игольчатые кремниевые нановолокна высокой плотности были синтезированы методом химического травления с использованием металлов, а наночастицы Bi были закреплены с помощью термического испарения. Морфология, элементный состав и структурный анализ подтвердили образование нанокомпозита BiNPs@SiNWs. Гидрофильная природа BiNPs@SiNWs способствует предотвращению обрастания за счет снижения бактериального загрязнения. Эти нанокомпозиты обладают исключительной способностью поглощать свет, достигающей 99 %, особенно в ближнем инфракрасном диапазоне, который перекрывается с тремя биологическими окнами, способствуя выработке активных форм кислорода (АФК) и эффективному фототермическому воздействию солнечного излучения, которое губительно для бактерий. Антибактериальные свойства оценивались при естественном солнечном освещении в отношении грамотрицательных *Escherichia coli* и грамположительные *Staphylococcus epidermidis*. С помощью колониеобразующих единиц, флуоресцентного окрашивания и сканирующей электронной микроскопии были получены впечатляющие показатели бактериостатического и бактерицидного действия — 96% и 99% соответственно. Механизмы, лежащие в основе этих эффектов, были тщательно изучены, что позволило продемонстрировать устойчивую эффективность на протяжении нескольких циклов. BiNPs@SiNWs обладают значительным потенциалом в качестве нового и эффективного

ISSN 3030-3907

антибактериального средства для различных биомедицинских применений [19].

Кремний считается одним из наиболее перспективных материалов для анодов в литий-ионных батареях следующего поколения благодаря его превосходной теоретической удельной емкости, низкому рабочему напряжению и широкому распространению. В данной работе одномерный трубчатый кремний и двумерный пластинчатый кремний с пористой структурой были успешно синтезированы из недорогих и распространенных глинистых минералов (галлуазита, каолина, хлорита и диккита) с помощью низкотемпературного процесса алюмотермического восстановления расплавленных солей. Результаты показывают, что морфология и микроструктура наноструктурированного кремния во многом зависят от морфологии и микроструктуры его предшественника, то есть одномерного трубчатого кремния из галлуазита, двумерного пластинчатого кремния из каолина, хлорита и диккита [20]

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Х. Янг и др. Исследование адсорбционной и окислительной активности сердцевины из ZnO и пьезоэлектрического кварца для усиленного обеззараживания ибупрофена: стерические, энергетические и окислительные исследования Chem. Eng. J.(2022)
2. В. Чжоу и др.Всесторонний обзор влияния химических пестицидов на окружающую среду и здоровье человека Emerg. Contam.(2025)
3. Y. Мэй и др.Адсорбция тяжелых металлов биоуглем в водном растворе: обзорНаука. Общая экология.(2025)
4. Л. Веларде и др. Адсорбция тяжелых металлов природными цеолитами: обзор Хемосфера (2023)
5. Н. Т. Пессоа и др. Эффективная адсорбция ионов кадмия и никеля в одно- и двухкомпонентных системах с использованием экологически чистых адсорбентов, полученных из скорлупы арахиса Environ. RES. (2024)
6. Ф. Машкур и др. Синергетический эффект полугидрата триоксида вольфрама, нанесенного на восстановленный оксид графена, при адсорбции тяжелых металлов и красителей, а также предварительное применение в суперконденсаторахДж. Клин. Прод. (2023)
7. Дж. Ванг и др.Геохимическая миграция кадмия в речных отложениях вблизи свинцово-цинкового завода Экотоксиколь. Environ. CBC. (2020)
8. С. Ченг и др Удаление свинца и кадмия из сточных вод с помощью экологически чистого биоугля, полученного из тополиной опилочной пыли Дж. Клин. Прод.(2021)

ISSN 3030-3907

9. Б. Аболфазли Бехруз и соавторы Важность предварительного замачивания для повышения эффективности биоугля, модифицированного и немодифицированного MgCl2, при адсорбции кадмия Экотоксиколь. Environ. CBC. (2023)
10. C.V. Лазарату и др. Роль глин, глинистых минералов и материалов на их основе в удалении нитратов из систем водоснабжения: обзор Прикладная наука о глине. (2020)
11. X. Ченг и др. Расслоение интеркалированных каолинитом цетатов калия методом шарового измельчения J. Colloid Interface Sci. (2010)
12. A. Альварес-Коскохуэла и др.Термическая активация каолинита путем интеркаляции ацетатом калия: исследование структуры и реакционной способности Прикладная наука о глине. (2024)
13. A. Валума и др.Получение оксида магния при детоксикации хризотилового асбеста щавелевой кислотой Дж. Опас. Матер. (2017)
14. Y. Янг и др.Получение интеркалированного соединения наносерпентина с ацетатом калия и его влияние в качестве добавки на трибологические свойства самосмазывающегося тканевого вкладыша,(2014)
15. X. Ченг и др. Молекулярная структура комплексов каолинита с ацетатом калия: комплексное экспериментальное исследование молекулярно-динамическое моделирование Прикладная наука о глине. (2015)
A.S. Diab, R. A. Mohamed, H. A. Alqhtani Comparative exfoliation of serpentinite using potassium acetate and potassium nitrate: Adsorption and statistical physics insights into cadmium and lead removal, Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, Volume 733, 2026, 139274, ISSN 0927-7757, https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2025.139274 .
16. S. Mäkikouri, M. Mälkki, T. Leino, J. Kauppinen, F. Hakanen, H. Tolvanen, Mineral carbonation: Thermal activation of serpentine as flexible component in energy systems, Journal of CO2 Utilization, Volume 105, 026, 103353, ISSN 2212-9820, https://doi.org/10.1016/j.jcou.2026.103353.
17. Ishioma L. Egun, Haiyang Yu, Xiaoying Zhou, Yuyu Su, Yang Hou, Dan Liu, Zhengfei Chen, Ammonium fluoride-mediated waste silicon cuttings into silicon-graphite composite electrodes for lithium-ion batteries, Materials Today Sustainability, Volume 34, 2026, 101337, ISSN 2589-2347, https://doi.org/10.1016/j.mtsust.2026.101337.
18. M. Naffeti, R.A. Ramírez-Jiménez, R. Chtourou, P. A. Postigo, M.R. Aguilar, L. Rojo, Bismuth-enhanced silicon nanowires: exploring their antimicrobial potential, Materials & Design, Volume 262, 2026, 115470, ISSN 0264-1275, https://doi.org/10.1016/j.matdes.2026.115470.

ISSN 3030-3907

19. D.Shen, J. Niu, Zh. Ren, R. Zhang, D.Xia, Y. Yang, W. Dong, Sh. Yang, Preparation of nanostructured silicon by low-temperature aluminothermic reduction of clay minerals as anode material for high-performance lithium-ion batteries, Journal of Energy Storage, Volume 131, Part A, 2025, 117493, ISSN 2352-152X, https://doi.org/10.1016/j.est.2025.117493.

ISSN 3030-3907