

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

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ  
ҰЛТТЫҚ ҒЫЛЫМ АКАДЕМИЯСЫНЫҢ  
Д.В. Сокольский атындағы  
«Жанармай, катализ және электрохимия институты» АҚ

# Х А Б А Р Л А Р Ы

## ИЗВЕСТИЯ

НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК  
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН  
АО «Институт топлива, катализа и  
электрохимии им. Д.В. Сокольского»

## N E W S

OF THE ACADEMY OF SCIENCES  
OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN  
JSC «D.V. Sokolsky institute of fuel, catalysis  
and electrochemistry»

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

**1 (450)**

**JANUARY – MARCH 2022**

PUBLISHED SINCE JANUARY 1947

PUBLISHED 4 TIMES A YEAR

ALMATY, NAS RK

---

*NAS RK is pleased to announce that News of NAS RK. Series of chemistry and technologies scientific journal has been accepted for indexing in the Emerging Sources Citation Index, a new edition of Web of Science. Content in this index is under consideration by Clarivate Analytics to be accepted in the Science Citation Index Expanded, the Social Sciences Citation Index, and the Arts & Humanities Citation Index. The quality and depth of content Web of Science offers to researchers, authors, publishers, and institutions sets it apart from other research databases. The inclusion of News of NAS RK. Series of chemistry and technologies in the Emerging Sources Citation Index demonstrates our dedication to providing the most relevant and influential content of chemical sciences to our community.*

*Қазақстан Республикасы Ұлттық ғылым академиясы «ҚР ҰҒА Хабарлары. Химия және технология сериясы» ғылыми журналының Web of Science-тің жаңаланған нұсқасы Emerging Sources Citation Index-те индекстелуге қабылданғанын хабарлайды. Бұл индекстелу барысында Clarivate Analytics компаниясы журналды одан әрі the Science Citation Index Expanded, the Social Sciences Citation Index және the Arts & Humanities Citation Index-ке қабылдау мәселесін қарастыруда. Web of Science зерттеушілер, авторлар, баспашылар мен мекемелерге контент тереңдігі мен сапасын ұсынады. ҚР ҰҒА Хабарлары. Химия және технология сериясы Emerging Sources Citation Index-ке енуі біздің қоғамдастық үшін ең өзекті және беделді химиялық ғылымдар бойынша контентке адалдығымызды білдіреді.*

*НАН РК сообщает, что научный журнал «Известия НАН РК. Серия химии и технологий» был принят для индексирования в Emerging Sources Citation Index, обновленной версии Web of Science. Содержание в этом индексировании находится в стадии рассмотрения компанией Clarivate Analytics для дальнейшего принятия журнала в the Science Citation Index Expanded, the Social Sciences Citation Index и the Arts & Humanities Citation Index. Web of Science предлагает качество в глубину контента для исследователей, авторов, издателей и учреждений. Включение Известия НАН РК в Emerging Sources Citation Index демонстрирует нашу приверженность к наиболее актуальному и влиятельному контенту по химическим наукам для нашего сообщества.*

### **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 Мыңжасарұлы** (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 № **KZ66VPY00025419** 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/arhiv>

---

© Қазақстан Республикасының Ұлттық ғылым академиясы, 2022

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

Типографияның мекен-жайы: «Аруна» ЖК, Алматы қ., Мұратбаев көш., 75.

### 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

**ТЕЛЬТАЕВ 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 углекислотной химии (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/arhiv>

---

© Национальная академия наук Республики Казахстан, 2022

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

Адрес типографии: ИП «Аруна», г. Алматы, ул. Муратбаева, 75.

#### 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, 2022

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)

Address of printing house: ST «Aruna», 75, Muratbayev str, Almaty.

NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

SERIES CHEMISTRY AND TECHNOLOGY

ISSN 2224-5286

Volume 1, Number 450 (2022), 20-26

<https://doi.org/10.32014/2022.2518-1491.86>

УДК: 546.211:546.74

МРНТИ 31.17.29

**М.А. Дәуренбек**

НАО «Таразский региональный университет имени М.Х. Дулати», Тараз, Казахстан.

E-mail: mdaurenbek@mail.ru

**НЕКОТОРЫЕ СОВРЕМЕННЫЕ ЗАРУБЕЖНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НА ОСНОВЕ  
КОМПЛЕКСНОГО СУЛЬФИДНОГО СОЕДИНЕНИЯ  $ZnIn_2S_4$  (СОСТОЯНИЕ  
И ТЕНДЕНЦИИ)**

**Аннотация.** Благодаря уникальным физико-химическим свойствам комплексные соединения сульфидов уже нашли широкое применение в науке и технике. Не случайно их синтезу и дальнейшему исследованию привлечено пристальное внимание мировой научной общественности. Особый интерес представляет сульфид цинк-индий. Такие соединения обладают рядом преимуществ по сравнению с другими сложными сульфидами, среди которых широкий диапазон поглощения света, регулируемая ширина запрещённой зоны, хороший отклик на облучение видимым светом. Эти обстоятельства имеют приоритетное значение в исследовании указанного сульфида с целью использования в качестве химических фотокатализаторов при получении водорода. В настоящее время такие исследования особенно актуальны, так как, по мнению большинства учёных, будущее планеты – за водородной энергетикой.

В статье приведён обзор наиболее значимых зарубежных исследований в области комплексного сульфидацинк-индий из более 200 научных работ, часть которых приведена в статье. В обзоре приведены примеры исследования сульфида цинка и индия по использованию его физико-химических свойств в основном для применения данного материала в качестве фотокатализаторов.

Рассмотрены активация выделения водорода при облучении видимым светом фотокатализаторов  $ZnIn_2S_4$ ; влияние температуры на фотокаталитические характеристики  $ZnIn_2S_4$  при генерации водорода; пути возрастания фотокаталитической активности выделения водорода  $ZnIn_2S_4$ ; фотоэлектрохимические характеристики электродов; повышенное извлечение водорода из воды на микросферных фотокатализаторах; способы увеличения фотокаталитической генерации  $H_2$  при облучении видимым светом; улучшенное разделение фотовозбуждённых носителей для выделения водорода в нанолитах  $ZnIn_2S_4$ ; низкотемпературный синтез слоистого фотокатализатора Zn-In-S; получение трёхмерного иерархического  $ZnIn_2S_4$  и его фотокаталитические свойства; ионотермический / гидротермальный синтез тройного халькогенида металла  $ZnIn_2S_4$ ; низкотемпературный синтез микросфер  $ZnIn_2S_4$ ; производство тонких нанокристаллических плёнок  $ZnIn_2S_4$  и их фотоэлектрохимические свойства; синтез нанокомпозитов  $ZnIn_2S_4$  с C-покрытием; применение в устройствах преобразования и хранения энергии наноструктурированных бинарных и тройных сульфидов металлов; использование в качестве сенсibilizированных красителей солнечных элементах; оптоэлектронных приложений и др. Выявлены основные тенденции и сделаны выводы.

**Ключевые слова:** сульфид цинк-индий, фотокатализатор, производство водорода, легирование, физические методы исследований, фотоэлектрохимические свойства.

**М.Ә. Дәуренбек**

КЕАҚ «М.Х. Дулати атындағы Тараз өңірлік университеті», Тараз, Қазақстан.  
E-mail: mdaurenbek@mail.ru

### **КЕШЕНДІ СУЛЬФИДТІ ҚОСЫЛЫС $ZnIn_2S_4$ НЕГІЗІНДЕГІ КЕЙБІР ЗАМАНАУИ ШЕТЕЛДІК ЗЕРТТЕУЛЕР(КҮЙІ МЕН БЕТАЛЫСЫ)**

**Аннотация.** Бірегей физика – химиялық қасиеттерінің арқасында сульфидтердің күрделі қосылыстары ғылым мен техникада кеңінен қолданыс тапты. Олардың синтезі мен одан әрі зерттелуі әлемдік ғылыми қоғамдастықтың назарын аударғаны кездейсоқ емес. Цинк-индий сульфидінің күрделі қосылысы ерекше қызығушылық тудыруда. Мұндай қосылыстар арасында жарықтың сіңуінің кең ауқымы, тыйым салынған аймақтың реттелетін ені бар және көрінетін жарықпен сәулеленуге жақсы жауап әсері басқа күрделі сульфидтермен салыстырғанда бірқатар артықшылықтарға ие. Бұл жағдайлар сутекті алуда химиялық фотокатализаторлар ретінде пайдалану мақсатында көрсетілген сульфидті зерттеуде басымдыққа ие. Көптеген ғалымдардың пікірінше, планетаның болашағы сутегі энергиясымен байланысты болғандықтан, мұндай зерттеулер қазіргі уақытта ерекше өзекті.

Мақалада 200-ден астам ғылыми еңбектердің цинк-индий сульфидті қосылысы саласындағы ең маңызды шетелдік зерттеулерге шолу жасалды, олардың бір бөлігі мақалада келтірілген. Шолуда мырыш сульфидін және индийді оның физика-химиялық қасиеттерін негізінен осы материалды фотокатализатор ретінде пайдалану бойынша зерттеу мысалдары келтірілген.

$ZnIn_2S_4$  фотокатализаторларын көрінетін жарықпен сәулелендіру кезінде сутегі бөлінуінің активтенуі; сутегі генерациясы кезінде  $ZnIn_2S_4$  фотокаталитикалық сипаттамаларына температураның әсері;  $ZnIn_2S_4$  сутегі бөлінуінің фотокаталитикалық белсенділігінің арту жолдары; электродтардың фотоэлектрохимиялық сипаттамалары; микросфералық фотокатализаторларда судан сутегі алынуының жоғарылауы; көрінетін жарықпен сәулелендіру кезінде  $H_2$  фотокаталитикалық генерациясын арттыру әдістері;  $ZnIn_2S_4$  нанопарақшаларда сутекті бөлу үшін фотокозғыш тасымалдаушылардың жақсартылған бөлінуі; Zn-In-S қатпарлы фотокатализаторының төмен температуралы синтезі; үш өлшемді иерархиялық  $ZnIn_2S_4$  және оның фотокаталитикалық қасиеттерін алу;  $ZnIn_2S_4$  металының үш халькогенидінің ионотермиялық / гидротермалдық синтезі;  $ZnIn_2S_4$  микросферасының төмен температуралы синтезі;  $ZnIn_2S_4$  жұқа нанокристалды пленкаларын өндіру және олардың фотоэлектрохимиялық қасиеттері;  $ZnIn_2S_4$  нанокөпозиттерін С-жабынмен синтездеу; энергияны түрлендіру және сақтау құрылғыларында нанокұрылымды екілік және үштік металл сульфидтерін қолдану; сенсбилизацияланған бояғыш ретінде күн элементтерін пайдалану; оптоэлектрондық қосымшалар және т.б. қарастырылды. Негізгі тенденциялар анықталды және қорытындылар жасалынды.

**Түйін сөздер:** цинк-индий сульфиді, фотокатализатор, сутегі өндірісі, легирлеу, зерттеудің физикалық әдістері, фотоэлектрохимиялық қасиеттер.

**M.A. Daurenbek**

Non-profit limited company «Taraz regional university named M.KH. Dulaty», Taraz, Kazakhstan.  
E-mail: mdaurenbek@mail.ru

### **SOME MODERN FOREIGN STUDIES BASEDON COMPLEX SULFIDE COMPOUND $ZnIn_2S_4$ (STATE AND TRENDS)**

**Abstract.** Due to the unique physical and chemical properties complex compounds of sulfides have already found wide application in science and technology. It is no coincidence that their synthesis and further study attracted close attention of the world scientific community. Zinc-indium sulfide complex compound is of particular interest. Such compounds have a number of advantages over other complex sulfides, including a wide range of light absorption, adjustable band gap, and good response to visible light irradiation. These circumstances are of priority importance in the study of this sulfide with the aim of using it as a chemical photocatalyst in the production of hydrogen. At present, such studies are especially relevant, since, according to most scientists, the future of the planet lies with hydrogen energy.

The article provides an overview of the most significant foreign studies from more than 200 scientific

papers concerning the complex sulfide compound zinc-indium, some of which are given in the article. The review provides examples of studying the physicochemical properties of zinc and indium sulfide with the aim of using this material as a photocatalyst.

The activation of hydrogen evolution upon irradiation of  $\text{ZnIn}_2\text{S}_4$  photocatalysts with visible light; the effect of temperature on the photocatalytic characteristics of  $\text{ZnIn}_2\text{S}_4$  during hydrogen generation; ways to increase the photocatalytic activity of  $\text{ZnIn}_2\text{S}_4$ ; photoelectrochemical characteristics of electrodes; increasing the extraction of hydrogen from water on microsphere photocatalysts; methods for increasing photocatalytic generation of  $\text{H}_2$  upon irradiation with visible light; improved separation of photoexcited carriers for hydrogen evolution in  $\text{ZnIn}_2\text{S}_4$  nanosheets; low-temperature synthesis of a layered Zn-In-S photocatalyst; obtaining three-dimensional hierarchical  $\text{ZnIn}_2\text{S}_4$  and its photocatalytic properties; ionothermal/hydrothermal synthesis of ternary metal chalcogenide  $\text{ZnIn}_2\text{S}_4$ ; low-temperature synthesis of  $\text{ZnIn}_2\text{S}_4$  microspheres; production of thin nanocrystalline  $\text{ZnIn}_2\text{S}_4$  films and their photoelectrochemical properties; synthesis of C-coated  $\text{ZnIn}_2\text{S}_4$  nanocomposites; application of nanostructured binary and ternary metal sulfides in energy conversion and storage devices; use as sensitized dyes in solar cells, optoelectronic applications, etc. are considered. The main tendencies are revealed and conclusions have been drawn.

**Key words:** sulfidezinc-indium, photocatalyst, hydrogen production, doping, physical research methods, photoelectrochemical properties.

**Введение.** Современный научно-технический прогресс остро нуждается в создании новых материалов, отвечающих запросам самых различных отраслей науки и техники. В частности, решение экологических проблем направлено на поиск новых материалов для создания более эффективных альтернативных источников энергии, в основе которых лежит солнечная энергетика, различные энергосберегающие приборы и оборудование. В связи с этим важное значение приобретают новые материалы, полученные на основе комплексных соединений сульфидов металлов, обладающих привлекательными оптическими, электрическими, фотоэлектрическими и люминесцентными свойствами [1]. Более того, по мнению большинства учёных, будущее планеты – за водородной энергетикой. Отсюда следуют проблемы эффективного и менее затратного производства водорода в большом объёме. Заметную роль в решении этой проблемы играют координационные соединения сульфидов, на основе которых разработаны различные фотокатализаторы, значительно увеличивающие скорость образования водорода, квантовый выход и другие показатели. Исследования показывают, что наиболее приемлемыми для создания фотокатализаторов являются сложные соединения на основе  $\text{ZnIn}_2\text{S}_4$ . Эти соединения обладают рядом уникальных физико-химических свойств, среди которых широкий диапазон поглощения света, регулируемая ширина запрещённой зоны, хороший отклик на облучение видимым светом. Указанные обстоятельства имеют приоритетное значение в функциональных особенностях фотокатализаторов. Приведём примеры.

**Состояние и тенденции исследований.** 1. В работе [2] исследован ряд фотокатализаторов на основе сульфида цинк-индий, легированного медью. Фотокатализаторы были синтезированы простым гидротермальным методом с концентрацией меди от 0 до 2,0 мас. %. Физические и фотофизические свойства этих фотокатализаторов были исследованы методами рентгеновской дифракции, фотолюминесцентной спектроскопией, сканирующей электронной микроскопией и спектроскопией диффузного отражения в фиолетовой области видимого спектра. Спектры диффузного отражения и фотолюминесценции этого материала монотонно смещались в сторону более длинных волн при увеличении концентрации меди от 0 до 2,0 мас. %. Это указывает на то, что оптические свойства этих фотокатализаторов сильно зависят от концентрации легирующей меди. Наибольшая фотокаталитическая активность наблюдалась при концентрации меди 0,5 мас.%. При этом скорость выделения водорода составила 151,5 мкмоль/ч при облучении видимым светом с длиной волны  $\lambda > 430$  нм.

2. В исследовании [3] выявлено, что серия фотокатализаторов  $\text{ZnIn}_2\text{S}_4$  может быть успешно синтезирована гидротермальным методом при различных температурах (120, 140, 160, 180 и 200°C), затем исследована серией методов анализа: XRD, SEM, BET и PL. Показано, что эти фотокатализаторы имеют идентичную ширину запрещённой зоны. Гидротермальная температура оказала существенное влияние на свойства фотокатализаторов, такие как площадь поверхности по БЭТ, общий объём пор, средний диаметр пор, дефекты и морфологию. Фотокаталитическая активность препарата оценивалась на основе производства водорода из воды при облучении видимым светом. Порядок активности объясняется коэффициентом морфологии и дефектами поверхности. Наилучшая эффективность производства водорода достигается при гидротермальной температуре 160°C.



3. В работе [4] отмечено, что серия фотокатализаторов  $\text{ZnIn}_2\text{S}_4$ , легированных щелочноземельными металлами, получена гидротермальным методом с использованием микроволнового излучения и исследована различными методами анализа: XRD, спектры в УФ – видимой области, спектры фотолюминесценции и SEM. Успешное встраивание Ca, Sr и Ba в решётку  $\text{ZnIn}_2\text{S}_4$  было подтверждено спектрами комбинационного рассеяния света. Результаты исследования показали значительное повышение фотокаталитической активности  $\text{ZnIn}_2\text{S}_4$  при легировании Ca примерно в два раза, тогда как легирование Sr и Ba не дало ощутимых результатов.

4. В статье [5] отмечается, что микросферы сульфида цинка и индия получены гидротермальным методом. Наноккомпозит палладий / сульфид цинка и индия был приготовлен с использованием метода фоторезистирования. Для исследования образцов наноккомпозитов  $\text{ZnIn}_2\text{S}_4$  и Pd /  $\text{ZnIn}_2\text{S}_4$  применялись спектры диффузного отражения в УФ-видимой области, дифракция рентгеновских лучей, просвечивающая электронная микроскопия, спектры фотолюминесценции. Согласно результатам исследования форма  $\text{ZnIn}_2\text{S}_4$  оказалась микросферической, тогда как легирующие примеси палладия выглядят как точки на этой поверхности. Таким образом, оптические и электронные свойства образцов наноккомпозита Pd /  $\text{ZnIn}_2\text{S}_4$  были значительно улучшены по сравнению с нелегированным материалом. Образцы наноккомпозита Pd /  $\text{ZnIn}_2\text{S}_4$  обладают более высокой фотокаталитической активностью. При этом концентрация наноккомпозита в 1,5 мас. % демонстрирует наилучшую фотокаталитическую активность. Полученные результаты могут расширить использование сульфида цинка и индия в качестве фотокатализатора, работающего в видимой области света.

5. В работе [6] представлен метод получения раствора для осаждения легированных медью плёночных полупроводниковых электродов  $\text{ZnIn}_2\text{S}_4$ . Структурные, оптические и фотоэлектрохимические свойства образцов исследовались в зависимости от содержания меди в образцах. Получена дифрактограмма кубической фазы  $\text{ZnIn}_2\text{S}_4$  нелегированного образца. В образцах  $\text{ZnIn}_2\text{S}_4$ , легированных медью, других соединений, содержащих медь, не было. Изображения с растрового электронного микроскопа и поэлементный анализ образцов полученных в результате энергодисперсионного анализа рентгеновских лучей, показали изменение морфологии и состава поверхности исследуемых образцов. Прямая запрещённая зона, непрямоугольная запрещённая зона и толщина образцов, использованных в исследовании, варьировались соответственно в диапазонах 2,07-2,58 эВ, 1,60-2,06 эВ и 521-879 нм. Максимальный фотоэлектрохимический отклик образцов в 0,5М водном растворе  $\text{K}_2\text{SO}_4$  достигал 1,15 мА /  $\text{cm}^2$  при внешнем потенциале + 1,0 В, что выше по сравнению с эталонным электродом Ag / AgCl при освещении ксеноновой лампой мощностью 300 Вт с интенсивностью света 100 мВт· $\text{cm}^{-2}$ . Экспериментальные результаты показывают, что легирование медью с атомным соотношением Cu / (Cu + Zn) 0,08 в образцах улучшает характеристики фотопоглотителя  $\text{ZnIn}_2\text{S}_4$  для приложений PEC.

6. В статье [7] выявлено, что микросферы  $\text{ZnIn}_2\text{S}_4$ , легированные  $\text{Ni}^{2+}$ , могут быть получены гидротермальным методом. Оптимальное содержание легирующего никеля составляло 0,3 мас. %, при котором производство водорода достигало максимума. Более высокая концентрация допирующего  $\text{Ni}^{2+}$  вряд ли может быть встроено в решётку  $\text{ZnIn}_2\text{S}_4$ , а просто оставаться на поверхности материала, что приводит к снижению активности. Выявлено, что  $\text{Ni}^{2+}$ , легированный в решётку  $\text{ZnIn}_2\text{S}_4$ , доминирует по фотокаталитической активности над поверхностным содержанием образовавшегося сульфида никеля (NiS). Результаты эксперимента могут быть объяснены, если предположить, что  $\text{Ni}^{2+}$  является неглубоким центром захвата, что значительно влияет на повышение активности фотокатализаторов.

7. В работе [8] исследуется фотокаталитическое производство водорода на наноразмерных фотокатализаторах  $\text{CuAg}_{0,15}\text{In}_{0,3}\text{Zn}_{1,4}\text{S}_2$ , полученных осаждением и прокаливанием. Фотокатализаторы исследованы методами дифракции рентгеновских лучей, просвечивающей электронной микроскопией, сканирующей электронной микроскопией, абсорбционной спектроскопией в УФ-видимой области. Результаты исследований показали, что температура и время прокаливания значительно влияют на кристалличность фотокатализатора, его удельную поверхность и способность поглощения видимого света. Активность фотокатализатора изучалась при облучении видимым светом KI в качестве донора электронов. Показано, что фотокатализатор  $\text{CuAg}_{0,15}\text{In}_{0,3}\text{Zn}_{1,4}\text{S}_2$ , приготовленный при температуре 600 $^{\circ}\text{C}$  в течение 5 часов, даёт самую высокую фотокаталитическую активность (скорость образования  $\text{H}_2$  составляет 1750 мкмоль · г $^{-1}$  · час $^{-1}$ ) и квантовый выход 12,8% при длине волны  $\lambda = 420 \pm 5$  нм), что примерно в шесть раз больше, чем при катализаторах, полученных без термической обработки.

8. В статье [9] отмечено, что фотокатализатор с регулируемой шириной запрещённой зоны  $\text{Zn}_{0,74}\text{Cu}_{0,13}\text{In}_2\text{S}_{3,805}$  был изготовлен простым одностадийным сольвотермическим методом. Исследовано влияние легирования Cu и избытком In на фотокаталитическую активность фотокатализатора  $\text{ZnIn}_2\text{S}_4$ .

Кроме того, оценивались оптические свойства, морфология поверхности и кристаллическая структура. Максимальная скорость выделения  $H_2$  ( $2370 \text{ мкмоль} \cdot \text{ч}^{-1} \cdot \text{г}^{-1}$ ) в видимом свете ( $\lambda \geq 420 \text{ нм}$ ) была с  $Zn_{0,74}Cu_{0,13}In_2S_{3,805}$  в пять раз выше, чем у необработанного  $ZnIn_2S_4$ . Ширина запрещённой зоны  $Zn_{0,74}Cu_{0,13}In_2S_{3,805}$  уменьшилась до  $1,95 \text{ эВ}$  за счёт увеличения максимального положения валентной зоны по сравнению с  $ZnIn_2S_4$ . Кроме того, эффективно уменьшалась рекомбинация электронно-дырочных пар. Это исследование способствует разработке высокоактивных фотокатализаторов в видимом свете.

9. В исследовании [10] отмечается, что фотокаталитические характеристики, ограниченные относительно медленным разделением носителей зарядов в полупроводниках, всё ещё намного ниже ожидаемых. Предлагается модель нанолистов  $ZnIn_2S_4$  с кислородным легированием для выяснения более глубокого понимания роли легирующих атомов в фотокатализе. Допированные кислородом нанолисты показывают повышенную фотокаталитическую активность по сравнению с нелегированными нанолистами. Электронная динамика, проанализированная с помощью сверхбыстрой, нестационарной абсорбционной спектроскопией, показывает, что среднее время восстановления фото возбуждённых электронов увеличивается в  $1,53$  раза при введении кислорода в кристаллы  $ZnIn_2S_4$ . Это указывает на улучшенное разделение фото возбуждённых носителей. Как и ожидалось, нанолисты  $ZnIn_2S_4$ , легированные кислородом, при облучении видимым светом демонстрируют заметно улучшенную фотокаталитическую активность со скоростью выделения водорода до  $2120 \text{ мкмоль} \cdot \text{ч}^{-1} \cdot \text{г}^{-1}$ , что в  $4,5$  раза выше, чем у нелегированных нанолистов.

10. В работе [11] отдельные композиты  $ZnIn_2S_4$  были синтезированы простым низкотемпературным ( $80^\circ\text{C}$ ) способом с использованием  $NaCl$ . Полученные продукты были исследованы с помощью XRD, SEM, TEM, TG/DTA, ICP-AES, BET и абсорбционной спектрометрии UV-Vis. Разложение тиацетамида (ТАА) при низкой температуре исследована абсорбционной спектроскопией в УФ–видимом диапазоне. Скорость разложения ТАА и концентрация  $NaCl$  влияли на состав, структуру, морфологию и размер зёрен продуктов. Полученные образцы представляют собой микросферы, похожие на ноготки, состоящие из нанолистов. При облучении видимым светом ( $\lambda \geq 420 \text{ нм}$ ) допирование образцов  $Pt$   $0,10 \text{ мас. \%}$  путём фотовосстановления позволила оценить фотокаталитическую активность приготовленных образцов по выделению водорода из водного раствора, содержащего триэтаноламин в качестве донора электронов. Активность образца, полученного в присутствии  $0,50 \text{ моль} \cdot \text{л}^{-1}$   $NaCl$ , оказалась в пять раз выше, чем у образцов без  $NaCl$ . Таким образом, фотокатализатор со слоистой структурой способствует улучшенной фотоактивности.

11. В статье [12] отмечено, что гексагональные фотокатализаторы  $ZnIn_2S_4$  с трёхмерной иерархической формой были успешно синтезированы с помощью сольвотермического метода с использованием олеиламина. Эксперимент по выделению водорода показал, что полученный материал обладает хорошей фотокаталитической активностью. Например, скорость производства водорода достигала  $220,45 \text{ мкмоль} \cdot \text{ч}^{-1}$ , а квантовый выход достигал  $13,16\%$  при загрузке  $3\%$   $Pt$ . При дальнейшей точной настройке процента открытой грани полученных кристаллов  $ZnIn_2S_4$  было обнаружено, что увеличение граней, ограниченных ионами металлов, улучшило их фотокаталитическую активность. Изучена взаимосвязь между кристаллической структурой материала и его фотокаталитическими свойствами.

12. В работе [13] трёхкомпонентный халькогенид металла  $ZnIn_2S_4$  был синтезирован ионотермическим / гидротермальным методом с использованием ионной жидкости [Bmim] [BF4]. Кристаллическая структура и химическое состояние поверхности материала подтверждены методами рентгеновской дифрактометрии и рентгеновской фотоэлектронной спектроскопией. При синтезе материала требовалось небольшое количество воды. Продукт  $ZnIn_2S_4$  с гексагональной фазой получали в широком диапазоне соотношений. Например, в объёме  $9,3 \text{ мл}$  [Bmim] [BF4] вода составляла  $0,1 - 5 \text{ мл}$ . Размер и морфология синтезированных образцов сильно зависели от [Bmim] [BF4], количества воды, концентрации цинка, температуры и времени реакции. Исследование соединения  $ZnIn_2S_4$  показало различные диапазоны поглощения видимого света при изменении содержания воды в реакционной смеси.

13. В статье [14] микросферы  $ZnIn_2S_4$  были синтезированы простым гидротермальным методом при  $80^\circ\text{C}$ . Результаты исследования показывают, что синтезированные образцы представляют собой микросферы с гексагональной фазой. Результаты элементного картирования и термогравиметрии подтверждают, что образец представляет собой чистый  $ZnIn_2S_4$ . Такой образец впервые был использован в качестве фотокатализатора, управляемого видимым светом, для селективного окисления бензилового спирта до бензальдегида в условиях окружающей среды. При этом степень селективного окисления составляет около  $69\%$  наряду с высокой селективностью (около  $94\%$ ) после трёх часового облучения. Исследования XRD и XPS показывают, что  $ZnIn_2S_4$  относительно стабилен в фотокаталитических реакциях.

14. В исследовании [15] показано, что тонкие нанокристаллические плёнки гексагональной фазы  $\text{ZnIn}_2\text{S}_4$  могут осаждаться центрифугированием с использованием стабильного на воздухе раствора прекурсора. В этом процессе оксид и гидроксид металла используются в качестве источников Zn и In, чтобы избежать введения каких-либо анионных примесей в тонкие плёнки  $\text{ZnIn}_2\text{S}_4$ . Стержневидные нанокристаллические зёрна шириной и длиной около  $13 \pm 3$  нм и  $26 \pm 5$  нм после отжига вырастали в парах серы при  $500^\circ\text{C}$  в течении 2 часов. Гладкие и компактные тонкие плёнки с различным соотношением In / Zn изготавливались путём регулирования соотношения двух источников металла в растворе прекурсора. Потенциалы плоских зон этих тонких плёнок  $\text{ZnIn}_2\text{S}_4$  – типа находятся в диапазоне от  $-0,55$  до  $-0,45$  В относительно обычного водородного электрода. Фотоэлектрохимические измерения демонстрируют превосходный отклик тонких плёнок  $\text{ZnIn}_2\text{S}_4$  на видимый свет. При освещении видимым светом фототок составляет почти 60% от фототока, получаемого при облучении полным спектром. Простой метод, основанный на растворах, представляет собой новую идею для изготовления качественных тонких плёнок мультиметаллических халькогенидов с превосходными фотоэлектрическими свойствами путём растворения оксида и гидроксида другого металла в растворе.

15. В работе [16] наноконкомпозиты  $\text{ZnIn}_2\text{S}_4$  с С-покрытием были успешно синтезированы с помощью простого сольвотермического подхода в одном резервуаре. Их структура и свойства были исследованы с помощью дифракции рентгеновских лучей (XRD), спектров диффузного отражения в УФ-видимой области (DRS), сканирующей электронной микроскопией (SEM) и просвечивающей электронной микроскопией (TEM). Согласно полученным результатам, наноконкомпозиты равномерно покрыты углеродными слоями, а их оптические и электронные свойства были улучшены по сравнению с чистым  $\text{ZnIn}_2\text{S}_4$ . Такие свойства можно получить, изменив количество добавляемой глюкозы. Более того, синтезированные наноконкомпозиты демонстрируют гораздо лучшие фотокаталитические характеристики, чем чистый  $\text{ZnIn}_2\text{S}_4$  по отношению к селективному окислению бензилового спирта в видимом свете. Наилучшие результаты наблюдались при добавлении 30 мг глюкозы, что обеспечивает 95% селективность, 70% конверсию при 68% выходе. Результат объясняется синергетическим эффектом, основанным на тесных межфазных контактах между углеродными слоями и  $\text{ZnIn}_2\text{S}_4$ . Приведённое исследование может расширить область применения  $\text{ZnIn}_2\text{S}_4$  в качестве фотокатализатора, работающего в видимом свете.

Сложное соединение  $\text{ZnIn}_2\text{S}_4$  используется не только в качестве материала для фотокатализаторов, но и в других целях [1]. Например, в устройствах преобразования и хранения энергии [17], сенсублизированных красителях солнечных элементов [18], оптоэлектронных приложениях [19] и др.

Из анализа работ, посвящённых синтезу, исследованию и практическому применению комплексного сульфидного соединения  $\text{ZnIn}_2\text{S}_4$ , следует, что в их подавляющем большинстве явно прослеживается тенденция использования этого материала в качестве фотокатализаторов при производстве водорода. При этом оптимальные свойства фотокатализаторов достигаются путём легирования основного материала не только отдельными химическими элементами, не входящими в основной состав сульфида, но и внедрением в решётку целого комплекса химических элементов.

**Заключение.** Таким образом, приведённые примеры и ряд других литературных источников, указанных в статье, свидетельствуют о важности дальнейших исследований на основе координационного соединения  $\text{ZnIn}_2\text{S}_4$  в целях повышения эффективности фотокатализаторов.

#### Information about the author:

**Daurenbek Murat Amiruly** – PhD student of specialty chemistry of the «Chemistry & chemical technology department», Non-profit limited company «Taraz regional university named M.KH. Dulaty», Suleimenov str., 7, Taraz, Kazakhstan, e-mail: mdaurenbek@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3275-2920>.

#### REFERENCES

- [1] Daurenbek M.A., Mazhibayev A.K., Bakibaev A.A. (2020) ABOUT MODERN RESEARCH IN THE FIELD OF COMPLEX SULFIDE COMPOUNDS (STATE AND TRENDS), NEWS OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN-SERIES CHEMISTRY AND TECHNOLOGY, 1:55-63. DOI: 10.32014/2020.2518-1491.7 (in Eng.).
- [2] Shen S.H., Zhao L., Zhou Z.H., Guo L.J. (2008) Enhanced photocatalytic hydrogen evolution over Cu-doped  $\text{ZnIn}_2\text{S}_4$  under visible light irradiation, JOURNAL OF PHYSICAL CHEMISTRY C, 112:16148-16155. DOI 10.1021/jp804525q (in Eng.).
- [3] Tian F., Zhu R.S., Song K.L., Niu M.L., Ouyang F., Cao G. (2015) The effects of hydrothermal temperature on the photocatalytic performance of  $\text{ZnIn}_2\text{S}_4$  for hydrogen generation under visible light irradiation, MATERIALS RESEARCH BULLETIN, 70:645-650. DOI 10.1016/j.materresbull.2015.05.033 (in Eng.).

- [4] Shen S.H., Zhao L., Guan X.J., Guo L.J. (2012) Improving visible-light photocatalytic activity for hydrogen evolution over  $\text{ZnIn}_2\text{S}_4$ : A case study of alkaline-earth metal doping, *JOURNAL OF PHYSICS AND CHEMISTRY OF SOLIDS*, 73:79-83. DOI: 10.1016/j.jpcs.2011.09.027 (in Eng.).
- [5] Zhang K., Guo L.J. (2013) Metal sulphide semiconductors for photocatalytic hydrogen production, *CATALYSIS SCIENCE & TECHNOLOGY*, 3:1672-1690. DOI: 10.1039/c3cy00018d (in Eng.).
- [6] Cheng K.W., Huang C.M., Yu Y.C., Li C.T., Shu C.K., Liu W.L. (2011) Photoelectrochemical performance of Cu-doped  $\text{ZnIn}_2\text{S}_4$  electrodes created using chemical bath deposition, *SOLAR ENERGY MATERIALS AND SOLAR CELLS*, 95:1940-1948. DOI: 10.1016/j.solmat.2011.02.026 (in Eng.).
- [7] Jing D.W., Liu M.C., Guo L.J. (2010) Enhanced Hydrogen Production from Water over Ni Doped  $\text{ZnIn}_2\text{S}_4$  Microsphere Photocatalysts, *CATALYSIS LETTERS*, 140:167-171. DOI: 10.1007/s10562-010-0442-9 (in Eng.).
- [8] Zhang G.S., Zhang W., Crittenden J.C., Chen Y.S., Minakata D., Wang P. (2013) Photocatalytic hydrogen production under visible-light irradiation on  $(\text{CuAg})_{0.15}\text{In}_{0.3}\text{Zn}_{1.4}\text{S}_2$  synthesized by precipitation and calcination, *CHINESE JOURNAL OF CATALYSIS*, 34:1926-1935. DOI: 10.1016/S1872-2067(12)60675-5 (in Eng.).
- [9] Tateishi I., Furukawa M., Katsumata H., Kaneco S. (2019) Improvement of Photocatalytic H<sub>2</sub>-Generation under Visible Light Irradiation by Controlling the Band Gap of  $\text{ZnIn}_2\text{S}_4$  with Cu and In, *CATALYSTS*, 9. DOI: 10.3390/catal9080681 (in Eng.).
- [10] Yang W.L., Zhang L., Xie J.F., Zhang X.D., Liu Q.H., Yao T., Wei S.Q., Zhang Q., Xie Y. (2016) Enhanced Photoexcited Carrier Separation in Oxygen-Doped  $\text{ZnIn}_2\text{S}_4$  Nanosheets for Hydrogen Evolution, *ANGEWANDTE CHEMIE-INTERNATIONAL EDITION*, 55:6716-6720. DOI: 10.1002/anie.201602543 (in Eng.).
- [11] Xu Z.D., Li Y.X., Peng S.Q., Lu G.X., Li S.B. (2012) NaCl-assisted low temperature synthesis of layered Zn-In-S photocatalyst with high visible-light activity for hydrogen evolution, *RSC ADVANCES*, 2:3458-3466. DOI: 10.1039/c2ra01159j (in Eng.).
- [12] Shen J., Zai J.T., Yuan Y.P., Qian X.F. (2012) 3D hierarchical  $\text{ZnIn}_2\text{S}_4$ : The preparation and photocatalytic properties on water splitting, *INTERNATIONAL JOURNAL OF HYDROGEN ENERGY*, 37:16986-16993. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2012.08.038 (in Eng.).
- [13] Li C.X., Li H.H., Han L.J., Li C.S., Zhang S.J. (2011) Ionothermal / hydrothermal synthesis of the ternary metal chalcogenide  $\text{ZnIn}_2\text{S}_4$ , *MATERIALS LETTERS*, 65:2537-2540. DOI: 10.1016/j.matlet.2011.05.052 (in Eng.).
- [14] Chen Z.X., Xu J.J., Ren Z.Y., He Y.H., Xiao G.C. (2013) Low temperature synthesis of  $\text{ZnIn}_2\text{S}_4$  microspheres as a visible light photocatalyst for selective oxidation, *CATALYSIS COMMUNICATIONS*, 41:83-86. DOI: 10.1016/j.catcom.2013.07.016 (in Eng.).
- [15] Xie Y.A., Liu Y.F., Cui H.L., Zhao W., Yang C.Y., Huang F.Q. (2014) Facile solution-based fabrication of  $\text{ZnIn}_2\text{S}_4$  nanocrystalline thin films and their photoelectrochemical properties, *JOURNAL OF POWER SOURCES*, 265:62-66. DOI 10.1016/j.jpowsour.2014.03.063 (in Eng.).
- [16] Chen Z.X., Wu Y., Xu J.J., Wang F.X., Wang J., Zhang J.Y., Ren Z.Y., He Y.H., Xiao G.C. (2015) Synthesis of C-coated  $\text{ZnIn}_2\text{S}_4$  nanocomposites with enhanced visible light photocatalytic selective oxidation activity, *JOURNAL OF MOLECULAR CATALYSIS A-CHEMICAL*, 401:66-72. DOI: 10.1016/j.molcata.2015.02.020 (in Eng.).
- [17] Kulkarni P., Nataraj S.K., Balakrishna R.G., Nagaraju D.H., Reddy M.V. (2017) Nanostructured binary and ternary metal sulfides: synthesis methods and their application in energy conversion and storage devices, *JOURNAL OF MATERIALS CHEMISTRY A*, 5:22040-22094. DOI: 10.1039/c7ta07329a (in Eng.).
- [18] Hou W.J., Xiao Y.M., Han G.Y., Zhang Y., Chang Y.Z. (2016) Titanium dioxide / zinc indium sulfide hetero-junction: An efficient photoanode for the dye-sensitized solar cell, *JOURNAL OF POWER SOURCES*, 328:578-585. DOI: 10.1016/j.jpowsour.2016.08.063 (in Eng.).
- [19] Jrad A., Ben Nasr T., Turki-Kamoun N. (2015) Study of structural, optical and photoluminescence properties of indium-doped zinc sulfide thin films for optoelectronic applications, *OPTICAL MATERIALS*, 50:128-133. DOI: 10.1016/j.optmat.2015.10.011 (in Eng.).
- [20] Goswami T., Yadav D.K., Bhatt H., Kaur G., Shukla A., Babu K.J., Ghosh H.N. (2021) Defect-Mediated Slow Carrier Recombination and Broad Photoluminescence in Non-Metal-Doped  $\text{ZnIn}_2\text{S}_4$  Nanosheets for Enhanced Photocatalytic Activity, *JOURNAL OF PHYSICAL CHEMISTRY LETTERS*, 12:5000-5008. DOI: 10.1021/acs.jpcclett.1c01203 (in Eng.).

## СОДЕРЖАНИЕ

### ХИМИЯ

<b>А.С. Абсейт, Н.С. Елибаева, Г.Г. Абдикарим</b> ОПРЕДЕЛЕНИЕ АМИНОКИСЛОТ В СОСТАВЕ РАСТЕНИЯ КОЛЮЧЕЛИСТНИКА ( <i>ACANTHOPHYLLUM PUNGENS</i> ).....	6
<b>А.А. Бек, З.А. Естемесов, М.Б. Нурпеисова, А.С. Суворов, А.Д. Дадин</b> ЗАКЛАДНЫЕ СМЕСИ НА ОСНОВЕ ИЗВЕСТНЯКОВЫХ ХВОСТОВ ОБОГАЩЕНИЯ.....	11
<b>М.А. Дэуренбек</b> НЕКОТОРЫЕ СОВРЕМЕННЫЕ ЗАРУБЕЖНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НА ОСНОВЕ КОМПЛЕКСНОГО СУЛЬФИДНОГО СОЕДИНЕНИЯ $ZnIn_2S_4$ (СОСТОЯНИЕ И ТЕНДЕНЦИИ).....	20
<b>М.Ж. Журинов, А.Ф. Мифтахова, Т.С. Бекежанова, М.К. Калыкбердиев, А.Т. Нурғали</b> РАЗРАБОТКА СПОСОБА РАЗДЕЛЕНИЯ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ ИЗ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ <i>ARTEMISIA CINA BERG.</i> И <i>ARTEMISIA ANNUA L.</i> ....	27
<b>Журинов М.Ж., Жармагамбетова А.К., Талгатов Э.Т., Солодова Е.В., Ауезханова А.С.</b> АНАЛИЗ ЛЕКАРСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ ФЛОРЫ КАЗАХСТАНА, СОДЕРЖАЩИХ СОЕДИНЕНИЯ С ПРОТИВОВИРУСНОЙ АКТИВНОСТЬЮ.....	35
<b>А. Исаева, Б. Корганбаев, А. Волненко, Д. Жумадуллаев</b> ИНЖЕНЕРНЫЕ РЕШЕНИЯ ПРИ РАЗРАБОТКЕ КОНСТРУКЦИИ БАШНИ ОХЛАЖДЕНИЯ ГИДРАТАЦИИ В ПРОИЗВОДСТВЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ФОСФОРНОЙ КИСЛОТЫ.....	44
<b>Н.К. Надиров, А.В. Ширинских, Е.В. Солодова, С.Б. Нуржанова</b> ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ, ЭКОЛОГИЧНОСТЬ И ЭКОНОМИЧНОСТЬ ПРОЦЕССОВ ПОДГОТОВКИ И ПЕРЕРАБОТКИ ТЯЖЕЛОЙ НЕФТИ.....	51
<b>У.Б. Назарбек, С.П. Назарбекова, П.А. Абдуразова, М.Б. Камбатыров, Е.Б. Райымбеков</b> ХИМИЧЕСКОЕ ВЫРАЖЕНИЕ СТРУКТУРЫ ГУМИНОВЫХ ВЕЩЕСТВ С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ ТЕОРИИ КОМПЛЕКСНЫХ СОЕДИНЕНИЙ.....	58
<b>С.М. Наурзкулова, М.В. Арапова, Б.К. Масалимова, С.М. Калмаханова</b> ВЛИЯНИЕ МЕТОДОВ ПОЛУЧЕНИЯ НА СТРУКТУРНЫЕ И ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫЕ СВОЙСТВА НОВЫХ Ni-СОДЕРЖАЩИХ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ СЛОЖНЫХ ОКСИДОВ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТАХ.....	67
<b>А.Б. Ниязбекова, Т.А. Шакиров, М.Ж. Алмагамбетова, Г.М. Губайдуллина, Д.К. Салимова</b> КОРРОЗИЯ И ЗАЩИТА СТАЛИ СТЗ НЕОРГАНИЧЕСКИМИ ИНГИБИТОРАМИ В МОДЕЛЬНОМ РАСТВОРЕ ПЛАСТОВОЙ ВОДЫ.....	73
<b>А.Н. Нурлыбаева, Е.И. Рустем, М.С. Калмаханова, К.К. Торгаев, М.Н. Омарова</b> СИНТЕЗ МЕТАКРИЛОВОГО СОПОЛИМЕРА И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ В КРАСКАХ.....	79
<b>Л.К. Оразжанова, Б.Х. Мусабаева, Б.С. Гайсина, А.К. Казбекова, А.Н. Сабитова</b> ПОЛУЧЕНИЕ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ СВОЙСТВ КРИОГЕЛЯ НА ОСНОВЕ ХИТОЗАНА И НАТРИЙ-КАРБОКСИМЕТИЛЦЕЛЛЮЛОЗЫ.....	86
<b>А.Б. Токтамысова, Э.К. Асембаева, Г.Т. Тулеева, Б.Т. Тнымбаева, Ш.Б. Егемова</b> СТЕПЕНЬ ОКИСЛЕНИЯ ЛИПИДОВ В СУХОМ КУМЫСЕ.....	94
<b>Г.С. Шаймерденова, К.Т. Жантасов, Т.С. Бажиров, А.А. Кадырбаева, М.Т. Байжанова</b> ВЛИЯНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ФТОРА НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГРАНУЛ ДИАММОНИЙФОСФАТА.....	100

## МАЗМҰНЫ

### ХИМИЯ

<b>А.С. Әбсейт, Н.С. Елибаева, Г.Ф. Әбдікәрім</b> БОЗТІКЕН ( <i>ASANTHORHYLLUM PUNGENS</i> ) ӨСІМДІГІНІҢ ҚҰРАМЫНДАҒЫ АМИНҚЫШҚЫЛДАРЫН АНЫҚТАУ.....	6
<b>А.А. Бек, З.А. Естемесов, М.Б. Нурпеисова, А.С. Суворов, А.Д. Дадин</b> БАЙЫТУДЫҢ ӘКТАСТЫ ҚАЛДЫҚТАРЫ НЕГІЗІНДЕГІ ЕНДІРІЛГЕН ҚОСПАЛАР.....	11
<b>М.Ә. Дәуренбек</b> КЕШЕНДІ СУЛЬФИДТІ ҚОСЫЛЫС $ZnIn_2S_4$ НЕГІЗІНДЕГІ КЕЙБІР ЗАМАНАУИ ШЕТЕЛДІК ЗЕРТТЕУЛЕР (КҮЙІ МЕН БЕТАЛЫСЫ).....	20
<b>М.Ж. Журынов, А.Ф. Мифтахова, Т.С. Бекежанова, М.Қ. Қалықбердиев, А.Т. Нұрғали</b> <i>ARTEMISIA CINA BERG.</i> ЖӘНЕ <i>ARTEMISIA ANNUA L.</i> ӨСІМДІК ШИКІЗАТТАРЫНАН БИОЛОГИЯЛЫҚ БЕЛСЕНДІ Қ ҚОСЫЛЫСТАРДЫ БӨЛІП АЛУ ӘДІСІН ЖАСАУ.....	27
<b>М.Ж. Журинов, А.К. Жармагамбетова, Э.Т. Талгатов, Е.В. Солодова, А.С. Ауезханова</b> ҚҰРАМЫНДА ВИРУСҚА ҚАРСЫ БЕЛСЕНДІЛІККЕ ИЕ ҚОСЫНДЫЛАРЫ БАР ҚАЗАҚСТАН ФЛОРАСЫНЫҢ ДӘРІЛІК ӨСІМДІКТЕРІНЕ ТАЛДАУ ЖАСАУ.....	35
<b>А. Исаева, Б. Корганбаев, А. Волненко, Д. Жумадуллаев</b> ТЕРМИЯЛЫҚ ФОСФОР ҚЫШҚЫЛЫН ӨНДІРУ КЕЗІНДЕГІ ГИДРАТАЦИЯЛЫҚ САЛҚЫНДАТҚЫШ МҰНАРАНЫ ЖОБАЛАУҒА АРНАЛҒАН ИНЖЕНЕРЛІК ШЕШІМДЕР.....	44
<b>Н.К. Надиров, А.В. Ширинских, Е.В.Солодова, С.Б. Нуржанова</b> АУЫР МҰНАЙДЫ ДАЙЫНДАУ ЖӘНЕ ҚАЙТА ӨНДЕУ ПРОЦЕСТЕРІНІҢ ТЕХНОЛОГИЯЛЫҒЫ, ҚОРШАҒАН ОРТАҒА ЗИЯНСЫЗДЫҒЫ МЕН ҮНЕМДІЛІГІ.....	51
<b>У.Б. Назарбек, С.П. Назарбекова, П.А. Абдуразова, М.Б. Қамбатыров, Е.Б. Райымбеков</b> КЕШЕНДІ ҚОСЫЛЫСТАРДЫҢ ТЕОРИЯСЫ ТҰРҒЫСЫНАН ГУМИНДІ ЗАТТАРДЫҢ ҚҰРЫЛЫМЫН ХИМИЯЛЫҚ ӨРНЕКТЕУ.....	58
<b>С.М. Наурызкулова, М.В. Арапова, Б.К. Масалимова, С.М. Калмаханова</b> ОТЫН ЭЛЕМЕНТТЕРІНДЕ ҚОЛДАНУҒА АРНАЛҒАН КҮРДЕЛІ ОКСИДТЕРГЕ НЕГІЗДЕЛГЕН ЖАҢА Ni ҚҰРАМДЫ КОМПОЗИТТЕРДІҢ ҚҰРЫЛЫМДЫҚ ЖӘНЕ ТОТЫҚСЫЗДАНУ ҚАСИЕТТЕРІНЕ АЛУ ӘДІСТЕРІНІҢ ӘСЕРІ.....	67
<b>А.Б. Ниязбекова, Т.А. Шакиров, М.Ж. Алмагамбетова, Г.М. Губайдуллина, Д.К. Салимова</b> СТ-3 БОЛАТЫНЫҢ ҚОРРОЗИЯҒА ҰШЫРАУЫ ЖӘНЕ ҚАБАТТЫҚ СУДЫҢ МОДЕЛЬДІК ЕРІТІНДІСІНДЕ БЕЙОРГАНИКАЛЫҚ ИНГИБИТОРЛАРМЕН ҚОРҒАЛУЫ.....	73
<b>А.Н. Нурлыбаева, Е.И. Рустем, М.С. Калмаханова, К.К. Торгаев, М.Н. Омарова</b> МЕТАКРИЛ СОПОЛИМЕРІНІҢ СИНТЕЗІ ЖӘНЕ ОНЫҢ БОЯУЛАРҒА ҚОЛДАНЫЛУЫ.....	79
<b>Л.К. Оразжанова, Б.Х. Мұсабаева, Б.С. Гайсина, А.Қ. Қазбекова, А.Н. Сабитова</b> ХИТОЗАН МЕН НАТРИЙ-КАРБОКСИМЕТИЛЦЕЛЛЮЛОЗА НЕГІЗІНДЕ КРИОГЕЛЬ АЛУ ЖӘНЕ ҚАСИЕТТЕРІН АНЫҚТАУ.....	86
<b>А.Б. Токтамысова Э.К. Асембаева , Г.Т. Тулеева, Б.Т. Тнымбаева, Ш.Б. Егемова</b> ҚҰРҒАҚ ҚЫМЫЗДАҒЫ ЛИПИДТЕРДІҢ ТОТЫҒУ ДӘРЕЖЕСІ.....	94
<b>Г.С. Шаймерденова, Қ.Т. Жантасов, Т.С. Бажиров, А.А. Қадырбаева, М.Т. Байжанова</b> ДИАММОНИЙ ФОСФАТ ТҮЙІРШІКТЕРІНІҢ МЕХАНИКАЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІНЕ ФТОР ҚҰРАМЫНЫҢ ӘСЕРІ.....	100

## CONTENTS

### CHEMISTRY

<b>A.S. Abseyt, N.S. Yelibayeva, G.G. Abdikarim</b> DETERMINATION OF AMINO ACIDS IN THE ACANTHOPHYLLUM PUNGENS PLANT COMPOSITION.....	6
<b>A.A. Bek, Z.A. Yestemesov, M.B. Nurpeisova, A.S. Suvorov, A.D. Dadin</b> EMBEDDED MIXTURES BASED ON LIMESTONE TAILINGS.....	11
<b>M.A. Daurenbek</b> SOME MODERN FOREIGN STUDIES BASED ON COMPLEX SULFIDE COMPOUND $ZnIn_2S_4$ (STATE AND TRENDS).....	20
<b>M.Zh. Zhurinov, A.F. Miftakhova, T.S. Bekezhanova, M.K. Kalykberdiev, A.T. Nurgali</b> DEVELOPMENT OF SEPARATING WAY OF BIOLOGICALLY ACTIVE SUBSTANCES FROM PLANT RAW MATERIALS OF ARTEMISIA CINA BERG. AND ARTEMISIA ANNUA L. ....	27
<b>Zhurinov M.Zh., Zharmagambetova A.K., Talgatov E.T, Solodova E.V., Auyezkhanova A.S.</b> ANALYSIS OF MEDICINAL PLANTS OF THE FLORA OF KAZAKHSTAN CONTAINING COMPOUNDS WITH ANTIVIRAL ACTIVITY.....	35
<b>A. Issayeva, B. Korganbayev, A. Volnenko, D. Zhumadullayev</b> ENGINEERING SOLUTIONS FOR DEVELOPING THE STRUCTURE OF A COOLING-HYDRATION TOWER IN THE PRODUCTION OF THERMAL PHOSPHORIC ACID.....	44
<b>N.K. Nadirov, A.V. Shirinskikh, E.V. Solodova, S.B. Nurzhanova</b> FEASIBILITY, ENVIRONMENTAL FRIENDLINESS AND ECONOMICAL EFFICIENCY OF TREATMENT AND REFINING PROCESSES OF HEAVY OIL .....	51
<b>U.B. Nazarbek, S.P. Nazarbekova, P.A. Abdurazova, M.B. Kambatyrov, Y.B. Raiymbekov</b> CHEMICAL EXPRESSION OF THE STRUCTURE OF HUMIC SUBSTANCES IN TERMS OF COMPLEX COMPOUNDS.....	58
<b>S.M. Naurzkulova, M.V. Arapova, B.K. Massalimova, M.S. Kalmakhanova</b> INFLUENCE OF THE PREPARATION METHODS ON THE STRUCTURAL AND REDUCIBILITY PROPERTIES OF NEW Ni CONTAINING COMPOSITES BASED ON COMPLEX OXIDES FOR FUEL-CELL APPLICATION.....	67
<b>A. Niyazbekova, T. Shakirov, M. Almagambetova, G. Gubaidullina, D. Salimova</b> CORROSION AND PROTECTION OF ST-3 STEEL BY INORGANIC INHIBITORS IN A MODEL RESERVOIR WATER SOLUTION.....	73
<b>A.N. Nurlybayeva, E.I. Rustem, M.S. Kalmakhanova, K.K. Tortayev, M.N. Omarova</b> SYNTHESIS OF METHACRYLIC COPOLYMER AND ITS APPLICATION IN PAINTS.....	79
<b>O.K. Orazzhanova, B.Kh. Musabayeva, B.S. Gaysina, A.K. Kazbekova, A.N. Sabitova</b> PREPARATION AND DETERMINATION OF CRYOGEL PROPERTIES BASED ON CHITOSAN AND SODIUM-CARBOXYMETHYLCELLULOSE.....	86
<b>A.B. Toktamyssova, E.K. Assembayeva, G.T. Tuleeva, B.T. Tnymbaeva, Sh. B. Ygemova</b> LEVID OXIDENESS IN DRY KUMYSE.....	94
<b>G.S. Shaimerdenova, K.T. Zhantasov, T.S. Bazhirov, A.A. Kadirbayeva, M.T. Baizhanova</b> EFFECT OF FLUORINE CONTENT ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF DIAMMONIUM PHOSPHATE GRANULES.....	100

## **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)**

Редакторы: *М.С. Ахметова, А. Ботанқызы, Д.С. Аленов, Р.Ж. Мрзабаева*  
Верстка на компьютере *Г.Д.Жадыранова*

Подписано в печать 10.03.2022.

Формат 60x88<sup>1</sup>/<sub>8</sub>. Бумага офсетная. Печать – ризограф.  
4,6 п.л. Тираж 300. Заказ 1.