

## Краткая информация о проекте

Наименование	AP14870472 «Технология зеленого синтеза структурно-модифицированных нанокompозитов сульфидов металлов с высокой фотокаталитической активностью и антибактериальными свойствами»
Актуальность	<p>Проект посвящен экологически чистому «зеленому» механохимическому синтезу наноструктурированных нанокompозитов на основе сульфидов переходных металлов и их легированной модификации для использования в качестве фотокатализаторов очистки воды и воздуха от органических загрязнителей и в качестве антибактериального средства. В рамках проекта планировалось производство одиночных наносульфидов с внутренними структурными дефектами MeS, гетероструктурных бинарных нанокompозитов <math>^1\text{Me}^2\text{MeS}</math> и сферических наночастиц со структурой ядро/оболочка <math>^1\text{MeS}@^2\text{MeS}</math>, где Me = Cu, Zn, Pb, Sn, Cd, Bi, Ag. Будет изучено влияние легирования нанокompозитов благородными металлами на фотокаталитическую и антибактериальную активность. Будет исследована возможность использования различных прекурсоров, то есть совместного помола непосредственно металла и серы или различных соединений, содержащих эти элементы. В частности, в качестве прекурсоров металлов будут использоваться ацетаты и нитраты, а в качестве прекурсоров серы — сульфид натрия, тиомочевина и мембрана яичной скорлупы. Возможность легирования сульфидов небольшими количествами наноразмерного серебра будет исследована путем совместного измельчения MeS с <math>\text{AgNO}_3</math> или путем прямого введения <math>\text{AgNO}_3</math> при синтезе сульфида в одностадийном процессе. Также будут синтезированы нанокompозиты большего количества сульфидов для конкретных применений. Получение MeS, Ag/MeS и <math>\text{Me}^1\text{S}/\text{Me}^2\text{S}/\text{Ag}</math> будет осуществляться в планетарных шаровых мельницах, куда будут вводиться твердые прекурсоры, а помол – в камерах с мелющими шарами разных размеров.</p> <p>Каждая полученная система продуктов будет изучена всеми доступными исследовательской группе методами: рентгенофазовый анализ с использованием уточнения Ритвельда, рамановская спектроскопия, сканирующая электронная микроскопия, просвечивающая электронная микроскопия, EDX-анализ, УФ-ВИД-спектроскопия, фотолюминесцентная спектроскопия, определение удельной поверхности. измерение (SBET), ИК-Фурье-спектроскопия, рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия.</p> <p>Предполагаемые применения MeS, <math>^1\text{Me}^2\text{MeS}</math> и <math>^1\text{MeS}@^2\text{MeS}</math> — фотокатализ, производство водорода и биомедицина. В зависимости от области применения будут изучены: биологическая активность (антибактериальные свойства),</p>

	<p>фотокаталитическая активность и фотокаталитическое производство водорода.</p> <p>Методика, описанная в проекте, имеет большой потенциал для коммерциализации, так как позволит существенно снизить себестоимость производства фотокатализаторов на основе металлосульфидных наноструктур за счет ресурсо- и энергосбережения, а также высокой материалоемкости. Кроме того, оптимизация направлена на использование полезных ископаемых и ресурсов Казахстана, что может привести к развитию страны как производителя материалов для коммерческих фотокатализаторов. Научная группа имеет опыт синтеза наночастиц, а также располагает всеми необходимыми инструментами для проведения всех этапов синтеза, а также физико-химического анализа.</p>
Цель	<p>Целью данного проекта является разработка экологически чистой и безотходной технологии синтеза структурно-модифицированных нанокompозитов на основе сульфидов переходных металлов, обладающих высокой фотокаталитической активностью и антибактериальными свойствами при разложении органических загрязнителей и выделении водорода.</p>
Задачи	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Разработка «зеленой» технологии механохимического синтеза наночастиц сульфидов переходных металлов (MeS). Сбор литературных источников и изучение преимуществ и недостатков существующих методов синтеза MeS. Определение экологически безопасных прекурсоров и оптимальных параметров механоактивации для синтеза наночастиц MeS.</li> <li>2. Структурные, качественные и морфологические характеристики полученных наночастиц MeS методами физико-химического анализа. Определение влияния выбранных прекурсоров и параметров механохимического синтеза на структурные характеристики конечных наночастиц.</li> <li>3. Исследование фотокаталитической активности полученных наноструктур при разложении органических загрязнителей из водных растворов и фотокаталитической генерации водорода из водно-спиртовых растворов под видимым и солнечным светом. Определение зависимости фотокаталитических и антибактериальных свойств наночастиц от размера и морфологии частиц.</li> <li>4. Определение условий легирования наночастиц MeS благородными металлами и подбор оптимальных условий механохимического синтеза структурных биметаллических нанокompозитов ядро/оболочка из сульфидов металлов <math>^1\text{Me}^2\text{MeS}</math> и <math>^1\text{Me}^2\text{MeS}@^3\text{MeS}</math>. Этот процесс будет проводиться для улучшения фотокаталитических свойств полученных образцов. Сочетание сульфидов двух разных металлов и легирование сульфидов металлов может значительно улучшить</li> </ol>

	<p>эффективность использования водорода в процессе фотокатализа.</p> <p>5. Создание принципиальной схемы производства фотокатализаторов на основе сульфидов металлов, соответствующей всем принципам зеленой химии. Данная технология обеспечит вторичное использование побочных продуктов. Кроме того, технологическая схема будет обусловлена отсутствием вредных выбросов в окружающую среду. Стратегия механохимического синтеза будет направлена на улучшение, которое будет достигаться за счет снижения ресурсоемкости, тем самым снижая себестоимость конечного продукта.</p>
<p>Ожидаемые и достигнутые результаты</p>	<p><i>Ожидаемые результаты:</i></p> <p>Будут определены оптимальные условия механохимического синтеза нанокompозитов MeS, 1MeS@2MeS и <sup>1</sup>Me<sup>2</sup>MeS@<sup>3</sup>MeS.</p> <p>Будет выполнена детальная характеристика химического состава, размера кристаллитов, удельной поверхности, структуры, морфологии (размера и формы нанокристаллов и наночастиц), запрещенной зоны, тепловых, спектральных и фотолюминесцентных свойств полученных нанокompозитов.</p> <p>Будет разработана «зеленая» технология механохимического синтеза наночастиц сульфида переходного металла (MeS).</p> <p>Будет определена зависимость фотокаталитических и антибактериальных свойств наночастиц MeS от размера и морфологии частиц.</p> <p>Будут определены условия легирования наночастиц MeS благородными металлами и выбора оптимальных условий механохимического синтеза структурных биметаллических нанокompозитов ядро/оболочка из сульфидов металлов <sup>1</sup>Me<sup>2</sup>MeS.</p> <p>Антибактериальные свойства полученных нанокompозитов <sup>1</sup>Me<sup>2</sup>MeS@<sup>3</sup>MeS, легированных благородными металлами, со структурой ядро/оболочка будут исследованы с использованием метода агаровых лунок на бактериях.</p> <p>Будет создана принципиальная схема производства фотокатализаторов на основе сульфидов металлов с соблюдением всех принципов зеленой химии.</p> <p><i>Достигнутые результаты:</i></p> <p>Опубликована 1 статья в журнале индексируемом в базе данных Scopus и 1 статья в рекомендованном Комитетом по обеспечению качества в сфере науки и высшего образования Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан.</p>

<p>Имена и фамилии членов исследовательской группы с их идентификаторами (Scopus Author ID, Researcher ID, ORCID, при наличии) и ссылками на соответствующие профили</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• PhD – Шалабаев Ж.С. (ORCID: <a href="https://orcid.org/0000-0003-3465-8241">https://orcid.org/0000-0003-3465-8241</a>). Scopus ID: 57203060099.</li> <li>• PhD – Матей Балаж – (ORCID: <a href="https://orcid.org/0000-0001-6563-7588">https://orcid.org/0000-0001-6563-7588</a>). Scopus ID: 55305604900.</li> <li>• PhD – Хан Н.В. (ORCID: <a href="https://orcid.org/0000-0003-1794-0018">https://orcid.org/0000-0003-1794-0018</a>). Scopus ID: 57214114418.</li> <li>• Бурашев Г.Б. (ORCID: <a href="https://orcid.org/0000-0002-4812-4112">https://orcid.org/0000-0002-4812-4112</a>).</li> <li>• Сейсембекова А.Б. - (ORCID: <a href="https://orcid.org/0000-0002-7791-3145">https://orcid.org/0000-0002-7791-3145</a>). Scopus (ID: 57193852937).</li> </ul>
<p>Список публикаций со ссылками на них</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Baláž P., Achimovičová M., <u>Baláž M.</u>, Chen K., Dobrozhan O., Guilmeau E., Hejtmanek J., Knížek K., Kubičková L., Levinský P. Thermoelectric Cu–S-based materials synthesized via a scalable mechanochemical process // ACS Sustainable Chemistry &amp; Engineering. – 2021. – Т. 9, № 5. – С. 2003-2016.</li> <li>2. <u>Baláž M.</u>, Dobrozhan O., Tešínský M., Zhang R.-Z., Džunda R., Dutková E., Rajňák M., Chen K., Reece M. J., Baláž P. Scalable and environmentally friendly mechanochemical synthesis of nanocrystalline rhodostannite (Cu<sub>2</sub>FeSn<sub>3</sub>S<sub>8</sub>) // Powder Technology. – 2021. – Т. 388. – С. 192-200.</li> <li>3. <u>Baláž M.</u>, Goga M., Hegedus M., Daneu N., Kováčová M. r., Tkáčiková L. u., Balážová L. u., Bačkor M. Biomechanochemical solid-state synthesis of silver nanoparticles with an antibacterial activity using lichens // ACS Sustainable Chemistry &amp; Engineering. – 2020. – Т. 8, № 37. – С. 13945-13955.</li> <li>4. <u>Shalabayev Z.</u>, <u>Baláž M.</u>, Daneu N., Dutková E., Bujňáková Z., Kaňuchová M., Danková Z., Balážová L., Urakaev F., Tkáčiková L., Burkitbayev M. Sulfur-mediated mechanochemical synthesis of spherical and needle-like copper sulfide nanocrystals with antibacterial activity // ACS Sustainable Chemistry and Engineering -2019. - Vol. 7, № 15. - P. 12897-12909. DOI: 10.1021/acssuschemeng.9b01849 (IF: 7.632, Q1).</li> <li>5. <u>Balaz M.</u>, Zorkovska A., Blazquez J.S., Daneu N., Balaz P. Mechanochemistry of copper sulfides: phase interchanges during milling // Journal of Materials Science. - 2017. - Vol. 52, № 20. - P. 11947-11961. DOI: 10.1007/s10853-017-1189-0 (IF: 3.282, Q2).</li> <li>6. <u>Baláž M.</u>, Dutková E., Bujňáková Z., Tóthová E., Kostova N.G., Karakirova Y., Briančin J., Kaňuchová M. Mechanochemistry of copper sulfides: Characterization, surface oxidation and photocatalytic activity // Journal of Alloys and Compounds. - 2018. - Vol. 746, № - P. 576-582. DOI: 10.1016/j.jallcom.2018.02.283 (IF: 4.082, Q2).</li> <li>7. <u>Balaz M.</u>, Daneu N., Balazova L., Dutkova E., Tkacikova L., Briančin J., Vargova M., Balazova M., Zorkovska A., Balaz P. Bio-mechanochemical synthesis of silver nanoparticles with antibacterial activity // Advanced Powder Technology. - 2017. - Vol. 28, № 12. - P. 3307-3312. DOI: 10.1016/j.appt.2017.09.028 (IF: 3.78, Q1).</li> <li>8. Dutková E., Čaplovičová M., Škorvánek I., <u>Baláž M.</u>, Zorkovská A., Baláž P., Čaplovič L. Structural, surface, and</li> </ol>

	<p>magnetic properties of chalcogenide Co<sub>9</sub>S<sub>8</sub> nanoparticles prepared by mechanochemical synthesis // Journal of Alloys and Compounds. – 2018. – Т. 745. – С. 863-867.</p> <p>9. Tatykayev B, Chouchene B, Balan L, Gries T, Medjahdi G, Girot E, Uralbekov B, Schneider R.. Heterostructured g-CN/TiO<sub>2</sub> Photocatalysts Prepared by Thermolysis of g-CN/MIL-125 (Ti) Composites for Efficient Pollutant Degradation and Hydrogen Production // Nanomaterials. – 2020. – Vol. 10. – №. 7. – P. (Q=1, IF=5.076, Percentile =79, CiteScore 2020 = 5.4) 1387. <a href="https://doi.org/10.3390/nano10071387">https://doi.org/10.3390/nano10071387</a></p> <p>10. Tatykayev B., Donat F, Alem H, Balan L, Medjahdi G, Uralbekov B, Schneider R.. Synthesis of core/shell ZnO/rGO nanoparticles by calcination of ZIF-8/rGO composites and their photocatalytic activity // ACS omega. – 2017. – Vol. 2. – №. 8. – P. 4946-4954. (Q2, IF=3.90, Percentile =70, CiteScore 2020=3.9) <a href="https://doi.org/10.1021/acsomega.7b00673">https://doi.org/10.1021/acsomega.7b00673</a></p> <p>11. Urakaev F.K., <u>Khan N.V.</u>, Shalabaev Z.S., Tatykaev B.B., Nadirov R.K., Burkitbaev M.M. Synthesis and Photocatalytic Properties of Silver Chloride/Silver Composite Colloidal Particles // Colloid Journal. - 2020. - Vol. 82, № 1. - P. 76-80. DOI: 10.1134/S1061933X20010160 (IF: 0.856, Q4).</p> <p>12. Ketegenov T., Tyumentseva O., <u>Khan N.</u>, Karagulanova A., Myrzabekova M. New composite fillers on the base of fly-ash cenospheres modified with titanium dioxide // Materials Today: Proceedings. - 2019. - Vol. 12, № - P. 128-131. DOI: 10.1016/j.matpr.2019.03.080.</p> <p>13. <u>Khan N.</u>, Burkitbayev M., Urakaev F. Preparation and properties of nanocomposites in the systems S–AgI and S–Ag<sub>2</sub>S–AgI in dimethyl sulfoxide // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. - 2019. - Vol. 704, № 1. - P. DOI: 10.1088/1757-899X/704/1/012007.</p> <p>14. Shalabayev Z., <u>Baláž M.</u>, <u>Khan N.</u>, Nurlan Y., Augustyniak A., Daneu N., <u>Tatykayev B.</u>, Dutková E., <u>Burashev G.</u>, Casas-Luna M., Džunda R., Bureš R., Čelko L., Ilin A., Burkitbayev M. Sustainable Synthesis of Cadmium Sulfide, with Applicability in Photocatalysis, Hydrogen Production, and as an Antibacterial Agent, Using Two Mechanochemical Protocols // Nanomaterials. MDPI AG. - 2022. - Vol. 12, № 8. - P. 1250. DOI: 10.3390/nano12081250</p>
Информация о патентах	