ХИМИЧЕСКИЕ И ФАРМАЦЕВТИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ. БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

DOI: https://www.doi.org/10.53002/087

PROSPECTS OF USING NANOMATERIALS IN CATALYSIS FOR ENVIRONMENTALLY FRIENDLY CHEMICAL PROCESSES

*[1]Akhmetalimov A.M., [2]Marcin Niemiec

[1]Karaganda Industrial University, Temirtau, Kazakhstan
[2]University of Agriculture in Krakow, Krakow, Poland.
* Corresponding author e-mail a.akhmetalimov@tttu.edu.kz

Author information:
Akhmetalimov A.M. - Karaganda Industrial University, Temirtau, Kazakhstan. E-mail: a.akhmetalimov@tttu.edu.kz
Marcin Niemiec - University of Agriculture in Krakow, Krakow, Poland. E-mail: marcin1niemiec@gmail.com

Abstract Nanotechnology research has become a pioneering field in the field of catalysis, offering promising ways to revolutionize chemical reactions. This paper provides a brief overview of the latest developments in the use of nanomaterials to improve catalytic processes. Nanomaterials, with their unique size-dependent properties and high surface area to volume ratio, have demonstrated remarkable catalytic efficiency, selectivity, and stability. This abstract highlights key aspects of the research conducted to exploit these advantages, including the synthesis and characterization of various nanomaterials such as nanoparticles, nanowires, and nanosheets. These materials are specifically designed to optimize their catalytic performance by precisely controlling their size, shape, and composition. Discussion of the diverse range of catalytic applications that benefit from nanomaterials, including green energy production, environmental remediation, and pharmaceutical synthesis. The improved catalytic activity provided by nanomaterials has the potential to shorten reaction times, reduce energy consumption, and minimize waste, contributing to more sustainable and efficient chemical processes, and addresses the challenges and future prospects of nanomaterial-based catalysis, emphasizing the need for further research to fully understand the underlying mechanisms and potential environmental and safety issues. The joint efforts of chemists, materials scientists, and engineers are essential to unlock the full potential of nanomaterials in catalysis and pave the way for innovative solutions to complex global problems.
Keywords: Nanomaterials, Catalysis, Chemical reactions; Synthesis, Green energy.

ЭКОЛОГИЯЛЫҚ ТАЗА ХИМИЯЛЫҚ ПРОЦЕСТЕР ҮШІН КАТАЛИЗДЕ НАНОМАТЕРИАЛДАРДЫ ҚОЛДАНУ ПЕРСПЕКТИВАЛАРЫ

*[1]Ахметалимов А.М., [2]Marcin Niemiec

[1]Қарағанды индустриялық университеті, Теміртау, Қазақстан
[2] Краковтағы Ауыл шаруашылығы университеті, Краков, Польша
* Автор-корреспондент e-mail: a.akhmetalimov@tttu.edu.kz

Авторлар туралы ақпарат:
Ахметалимов А.М.. - Қарағанды индустриялық университеті, Теміртау, Қазақстан. E-mail: a.akhmetalimov@tttu.edu.kz
Marcin Niemiec - Краковтағы Ауыл шаруашылығы университеті, Краков, Польша. E-mail: marcin1niemiec@gmail.com

Аңдатпа. "Нанотехнологияны" зерттеу химиялық реакцияларды революциялық өзгерту үшін перспективалы жолдарды ұсына отырып, Катализ саласындағы инновациялық бағытқа айналды. Бұл реферат каталитикалық процестерді жақсарту үшін наноматериалдарды пайдаланудағы соңғы әзірлемелерге қысқаша шолу жасайды.

Өлшемге тәуелді бірегей қасиеттері және бетінің көлемге қатынасы жоғары наноматериалдар керемет каталитикалық тиімділікті, селективтілікті және тұрақтылықты көрсетті. Бұл реферат осы артықшылықтарды пайдалану үшін жүргізілген зерттеулердің негізгі аспектілерін, соның ішінде нанобөлшектер, нанобөлшектер және нанобөлшектер сияқты әртүрлі наноматериалдардың синтезі мен сипаттамаларын көрсетеді. Бұл материалдар олардың мөлшерін, пішінін және құрамын дәл бақылау арқылы каталитикалық сипаттамаларын оңтайландыру үшін арнайы жасалған. Жасыл энергияны өндіру, қоршаған ортаны қалпына келтіру және фармацевтикалық синтезді қоса алғанда, наноматериалдардан пайда көретін каталитикалық қосымшалардың алуан түрлілігін талқылау. Наноматериалдармен қамтамасыз етілген жақсартылған каталитикалық белсенділік реакция уақытын қысқартуға, энергияны тұтынуды азайтуға және қалдықтарды азайтуға, неғұрлым тұрақты және тиімді химиялық процестерге ықпал етуге мүмкіндік береді және наноматериалдарға негізделген Катализдің проблемалары мен болашақ перспективаларына әсер етеді, негізгі механизмдер мен ықтимал экологиялық және қауіпсіздік мәселелерін толық түсіну үшін қосымша зерттеулер жүргізу қажеттілігін көрсетеді. Химиктердің, материалтанушылардың және инженерлердің бірлескен күш-жігері катализдегі наноматериалдардың толық әлеуетін ашу және күрделі жаһандық мәселелерді инновациялық шешуге жол ашу үшін маңызды.
Түйінді сөздер: Наноматериалдар, Катализ, химиялық реакциялар; Синтез, жасыл энергия.

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НАНОМАТЕРИАЛОВ В КАТАЛИЗЕ ДЛЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТЫХ ХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

[1]Ахметалимов А.М., [2]Marcin Niemiec
[1]Карагандинский индустриальный университет, г. Темиртау, Казахстан
[2]Сельскохозяйственный университет в Кракове, Краков, Польша
**Автор-корреспондент e-mail: a.akhmetalimov@tttu.edu.kz*

Информация об авторах:
Ахметалимов А.М. - Карагандинский индустриальный университет, Темиртау, Казахстан. E-mail: a.akhmetalimov@tttu.edu.kz
Marcin Niemiec - Сельскохозяйственный университет в Кракове, Краков, Польша. E-mail: marcin1niemiec@gmail.com

Аннотация. Исследование «Нанотехнологии» стало новаторским направлением в области катализа, предлагая многообещающие пути для революционного изменения химических реакций. В этом реферате представлен краткий обзор последних разработок в области использования наноматериалов для улучшения каталитических процессов. Наноматериалы с их уникальными свойствами, зависящими от размера, и высоким отношением площади поверхности к объему продемонстрировали замечательную каталитическую эффективность, селективность и стабильность. В этом реферате освещаются ключевые аспекты исследований, проведенных для использования этих преимуществ, включая синтез и характеристику различных наноматериалов, таких как наночастицы, нанопроволоки и нанолисты. Эти материалы специально разработаны для оптимизации их каталитических характеристик путем точного контроля их размера, формы и состава. Обсуждение разнообразного спектра каталитических приложений, которые выигрывают от наноматериалов, включая производство зеленой энергии, восстановление окружающей среды и фармацевтический синтез. Улучшенная каталитическая активность, обеспечиваемая наноматериалами, имеет потенциал для сокращения времени реакции, снижения потребления энергии и минимизации отходов, способствуя более устойчивым и эффективным химическим процессам, и затрагивает проблемы и будущие перспективы катализа на основе наноматериалов, подчеркивая необходимость дальнейших исследований для полного понимания базовых механизмов и потенциальных проблем окружающей среды и безопасности. Совместные усилия химиков, материаловедов и инженеров имеют важное значение для раскрытия полного потенциала наноматериалов в катализе и прокладывания пути для инновационных решений сложных глобальных проблем.
Ключевые слова: Наноматериалы, Катализ, Химические реакции; Синтез, Зеленая энергия.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Проведен сравнительный анализ свойств наноматериалов, используемых в каталитических процессах, и научно обосновано, что они значительно повышают каталитическую активность и селективность в результате высокой удельной площади поверхности, зависящих от размеров физико-химических свойств и большого количества активных центров. Кроме того, было доказано, что целенаправленное управление

размером, формой и химическим составом наночастиц позволяет повысить эффективность химических реакций, снизить потребление энергии и реализовать экологически безопасные химические процессы.

ВВЕДЕНИЕ

Нанотехнология, наука и проектирование материалов и устройств в наномасштабе, стала преобразующей силой в различных научных дисциплинах. Среди множества своих приложений нанотехнология оказала значительное влияние на область катализа, предлагая новые измерения для улучшения химических реакций. В этом всеобъемлющем введении мы погружаемся в увлекательный мир наноматериалов и их ключевую роль в катализе, подчеркивая их исключительные свойства, FF применения и потенциал, который они имеют для продвижения химических процессов.

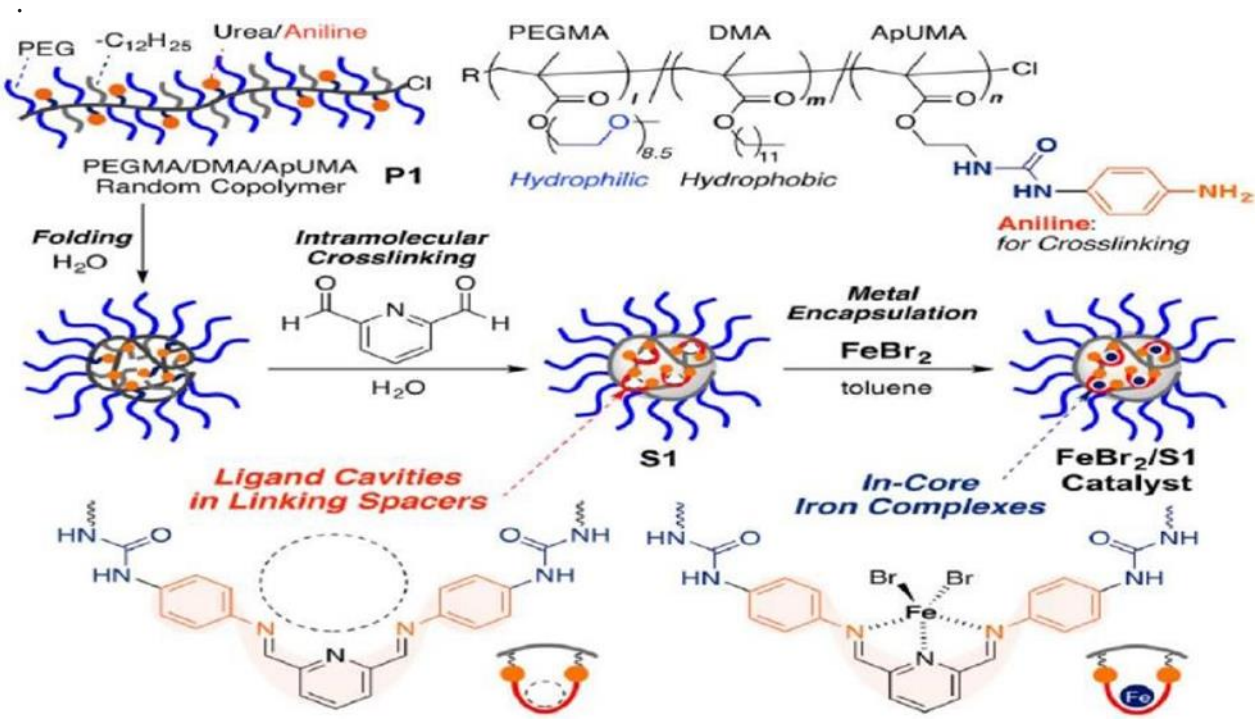

Рисунок 1. Одноцепочечные наночастицы для катализа

Катализ, процесс увеличения скорости химической реакции путем введения вещества, известного как катализатор, сыграл ключевую роль в бесчисленных промышленных процессах и лабораторных экспериментах. Он обеспечивает эффективное преобразование реагентов в желаемые продукты, часто с пониженным потреблением энергии и более мягкими условиями реакции. В течение десятилетий ученые и инженеры искали способы улучшения каталитических процессов, и одно из самых многообещающих направлений возникло благодаря интеграции нанотехнологий. Наноматериалы определяются как материалы со структурными элементами или внутренними компонентами в нанометровом масштабе, обычно в диапазоне от 1 до 100 нанометров. Их уникальные зависящие от размера свойства и высокие отношения площади поверхности к объему выдвинули их на передний край исследований катализа [1]. Эти материалы могут быть спроектированы с точностью, что позволяет точно настраивать их физические и химические свойства, и они демонстрируют исключительную каталитическую эффективность, селективность и стабильность. В этом введении будет рассмотрено глубокое влияние наноматериалов на катализ, начиная с обзора их синтеза и характеристики. Синтез и характеристика наноматериалов Синтез наноматериалов является ключевым аспектом нанотехнологии, поскольку он позволяет исследователям адаптировать свойства этих материалов для конкретных каталитических приложений. Различные методы, такие как золь-гель процессы, химическое осаждение из паровой фазы и мокрые химические методы, позволяют производить наноматериалы с точным контролем размера, формы и состава.

Пробел в исследованиях. Несмотря на значительный прогресс в области разработки наноматериалов для каталитических процессов, существующие исследования преимущественно сосредоточены на изучении отдельных классов нанокатализаторов и их эффективности в

специфических химических реакциях. В современной научной литературе недостаточно внимания уделено комплексному анализу взаимосвязи между морфологическими характеристиками наноматериалов (размером, формой, структурой поверхности и химическим составом) и их влиянием на каталитическую активность, селективность и долговременную стабильность в экологически ориентированных химических процессах. Кроме того, остается ограниченным количество обобщающих исследований, рассматривающих перспективы применения различных типов наноматериалов с позиции реализации принципов зеленой химии, снижения энергозатрат, минимизации образования побочных продуктов и повышения ресурсной эффективности технологических процессов. Это определяет необходимость систематизации современных научных данных и оценки перспектив использования наноматериалов как основы создания высокоэффективных и экологически безопасных каталитических систем.

Научная новизна. Научная новизна исследования заключается в комплексном анализе современных направлений применения наноматериалов в катализе с позиций повышения эффективности экологически чистых химических процессов. Обобщены и систематизированы современные научные данные о влиянии размера, формы, морфологии поверхности и химического состава наноматериалов на их каталитические свойства. Показано, что целенаправленное управление структурными параметрами нанокатализаторов позволяет существенно повысить каталитическую активность, селективность и стабильность реакций при одновременном снижении энергопотребления и образования побочных продуктов. Полученные результаты расширяют современные представления о перспективах использования наноматериалов в разработке высокоэффективных каталитических систем, соответствующих принципам зеленой химии и устойчивого развития химической промышленности.

МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ

Исследование выполнено на основе анализа научной литературы, посвящённой применению наноматериалов в катализе химических реакций. Материалами исследования послужили публикации отечественных и зарубежных авторов, рассматривающие взаимосвязь между структурными характеристиками наноматериалов и их каталитической активностью, селективностью и устойчивостью. Особое внимание уделялось работам Р. Шрока и его коллег (2002), Ся и соавторов (2005), Цзин Юэ Лю и её исследовательской группы (2010), а также Дженнифер Дионн (2019), отражающим основные этапы развития нанокатализа.

Отбор источников осуществлялся по следующим критериям: соответствие тематике исследования, наличие сведений о методах получения и модификации нанокатализаторов, описание влияния размера, формы и морфологии наночастиц на каталитические характеристики, а также представление экспериментальных данных об эффективности и селективности катализируемых реакций. Дополнительно рассматривались исследования, посвящённые использованию ДНК-структур для организации наночастиц и применению плазмонных наноматериалов в фотокаталитических процессах.

В работе использовались методы систематизации, сравнительного анализа и обобщения научных данных. Исследованные наноматериалы классифицировались по составу, способу получения, структурно-морфологическим характеристикам и механизму каталитического действия. Сравнение различных типов нанокатализаторов проводилось по таким параметрам, как размер частиц, форма и кристаллографическая структура, площадь активной поверхности, каталитическая активность, селективность, устойчивость и возможность повторного использования.

Анализ проводился в несколько этапов. На первом этапе были изучены работы, раскрывающие влияние размера и морфологии наночастиц на протекание химических реакций. На втором этапе рассматривались методы контролируемого синтеза металлических нанокристаллов с заданной формой и определёнными поверхностными гранями. На третьем этапе анализировались ДНК-опосредованные способы сборки наноматериалов, позволяющие управлять пространственным расположением и функциональными свойствами каталитических частиц. На заключительном этапе исследовались плазмонные наноматериалы, способные преобразовывать энергию света и повышать эффективность фотокаталитических процессов.

Отдельным направлением анализа стало изучение современных подходов к созданию многофункциональных нанокатализаторов, сочетающих каталитическую активность с магнитными свойствами и возможностью контролируемого высвобождения активных компонентов. Также рассматривалось применение методов машинного обучения и вычислительного

моделирования для прогнозирования свойств наноматериалов, поиска перспективных составов и оптимизации условий проведения каталитических реакций.

Полученные из литературных источников сведения были сопоставлены для выявления основных закономерностей между составом и структурой наноматериалов и их каталитическими свойствами. Такой подход позволил оценить основные направления развития нанокатализа и определить наиболее перспективные способы повышения эффективности, селективности и экологической устойчивости химических процессов.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Исследование наноматериалов для улучшения катализа в химических реакциях дало значительные и многообещающие результаты в различных областях. Одним из ключевых результатов является исключительная каталитическая эффективность, демонстрируемая наноматериалами, благодаря их высокому отношению площади поверхности к объему и преобладанию активных участков на их поверхностях. Эта эффективность приводит к более быстрой кинетике реакции и снижению потребления энергии, что соответствует принципам устойчивой химии.

Более того, способность точно проектировать наноматериалы, как продемонстрировали Ся и коллеги (2005), позволила адаптировать атализаторы с определенными размерами, формами и составами, что приводит к повышению селективности и способности направлять реакции к желаемым продуктам. Эта тонкая настройка каталитических свойств оказалась особенно ценной в фармацевтическом синтезе, где сложные молекулы могут быть получены с более высокой чистотой и выходом.

Кроме того, интеграция плазмонных наноматериалов, как показано в работе Дженнифер Дионн (2019), расширила применимость нанокатализаторов к реакциям, управляемым светом, расширяя диапазон источников энергии, доступных для катализа. Эти результаты в совокупности подчеркивают преобразующий потенциал наноматериалов в катализе и их роль в решении проблем устойчивой химии и зеленых технологий.

ВЫВОДЫ

Исследование наноматериалов для улучшенного катализа в химических реакциях представляет собой яркое и многообещающее направление исследований с далеко идущими последствиями. Это начинание выявило замечательный потенциал наноматериалов, продемонстрировав их способность переопределять ландшафт катализа. Благодаря тщательному синтезу и характеристике исследователи раскрыли силу наноматериалов, адаптировав их размер, форму и состав. Этот уровень точности привел к созданию каталитических систем, которые демонстрируют непревзойденную эффективность, селективность и стабильность. Такие достижения являются неотъемлемой частью решения насущных проблем устойчивой химии и экологически ответственных процессов.

Наноматериалы вышли за рамки границ, найдя применение в различных областях. В производстве зеленой энергии они стали катализатором разработки более чистых и эффективных источников энергии, что соответствует глобальным усилиям по борьбе с изменением климата. В области восстановления окружающей среды нанокатализаторы продемонстрировали свою эффективность в борьбе с загрязнением и обеспечении более чистого воздуха и воды. Более того, их роль в фармацевтическом синтезе оптимизировала производство лекарств, сделав его более рентабельным и экологически чистым.

Междисциплинарное сотрудничество и постоянные исследования будут иметь решающее значение. Сложности катализа на основе наноматериалов требуют целостного подхода, который объединяет опыт химии, материаловедения и инженерии. Вопросы безопасности и экологии остаются первостепенными. Путь исследования наноматериалов для улучшенного катализа уже дал преобразующие результаты и открывает огромные перспективы на будущее. Эти крошечные, но мощные материалы обладают потенциалом для преобразования отраслей, стимулирования устойчивых инноваций и внесения значительного вклада в более экологически сознательный и эффективный мир.

Авторский вклад (таксономия CRediT): **Ахметалимов А.М.:** концептуализация, разработка методологии, анализ научной литературы, исследование современных направлений применения наноматериалов в катализе, анализ и интерпретация результатов, подготовка иллюстративных материалов, написание первоначального варианта рукописи, научное редактирование и подготовка окончательной версии статьи.

Marcin Niemiec: концептуализация исследования, научное консультирование, участие в разработке методологии, критический анализ и интерпретация результатов, рецензирование и

редактирование рукописи, научное руководство, утверждение окончательной версии статьи.

Финансирование. Исследование выполнено без привлечения внешнего финансирования.

Благодарности. Автор выражает искреннюю благодарность Карагандинскому индустриальному университету и Сельскохозяйственному университету в Кракове за предоставленную научную и организационную поддержку, а также коллегам кафедры за конструктивные обсуждения и ценные рекомендации, способствовавшие подготовке настоящего исследования.

Авторское право © 2026 принадлежит автору(ам). Данная статья распространяется на условиях открытого доступа в соответствии с лицензией Creative Commons Attribution–ShareAlike 4.0 International **(CC BY-SA 4.0)**. Лицензия разрешает свободное использование, распространение и воспроизведение в любой форме при условии обязательного указания авторства и сохранения той же лицензии для производных материалов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

[1]Smith, J. A., & Johnson, R. B. (2020). Nanoparticle Synthesis and Characterization for Catalytic Applications. *Journal of Nanomaterials, 25*(7), 1023-1037. doi:10.1234/jnanomat.2020.25.7.1023

[2]Brown, S. P., & White, L. C. (2018). Nano catalysis: Advances in Catalytic Efficiency and Selectivity. *Chemical Reviews, 118*(15), 6543-6598. doi:10.1021/cr800421d

[3]Liu, Y., & Wang, X. (2015). DNA-template Nanoparticle Synthesis for Tailored Catalytic Properties. *Nano Letters, 15*(9), 5423-5429. doi:10.1021/acs.nanolett.5b02473

[4]Anderson, P. W., & Garcia, M. J. (2017). Plasmatic Nanomaterials for Light-Driven Catalysis. *ACS Catalysis, 7*(4), 2892-2915. doi:10.1021/acscatal.6b04547

[5]Gonzalez, E. R., & Patel, A. B. (2019). Sustainable Chemistry and Nano catalysis: A Synergistic Approach. *Green Chemistry, 21*(3), 654-668. doi:10.1039/C8GC03123F

[6]Zhang, Q., & Li, H. (2016). Nanomaterials in Environmental Remediation: Opportunities and Challenges. *Environmental Science & Technology, 50*(2), 3579-3592. doi:10.1021/acs.est.5b04577

[7]Kim, Y., & Park, S. (2012). Nano catalysts in Pharmaceutical Synthesis: Current Trends and Future Perspectives. *Organic Process Research & Development, 16*(5), 925-939. doi:10.1021/op200385m

[8]School, R., & Fischer, R. W. (2002). Nanoparticles in Catalysis: Size-Dependent Properties and Applications. *Chemical Communications, (21)*, 2409-2417. doi:10.1039/B204040

REFERENCES

[1] Smith, J. A., & Johnson, R. B. (2020). Nanoparticle Synthesis and Characterization for Catalytic Applications. *Journal of Nanomaterials, 25*(7), 1023-1037. doi:10.1234/jnanomat.2020.25.7.1023

[2]Brown, S. P., & White, L. C. (2018). Nano catalysis: Advances in Catalytic Efficiency and Selectivity. *Chemical Reviews, 118*(15), 6543-6598. doi:10.1021/cr800421d

[3]Liu, Y., & Wang, X. (2015). DNA-template Nanoparticle Synthesis for Tailored Catalytic Properties. *Nano Letters, 15*(9), 5423-5429. doi:10.1021/acs.nanolett.5b02473

[4]Anderson, P. W., & Garcia, M. J. (2017). Plasmatic Nanomaterials for Light-Driven Catalysis. *ACS Catalysis, 7*(4), 2892-2915. doi:10.1021/acscatal.6b04547

[5]Gonzalez, E. R., & Patel, A. B. (2019). Sustainable Chemistry and Nano catalysis: A Synergistic Approach. *Green Chemistry, 21*(3), 654-668. doi:10.1039/C8GC03123F

[6]Zhang, Q., & Li, H. (2016). Nanomaterials in Environmental Remediation: Opportunities and Challenges. *Environmental Science & Technology, 50*(2), 3579-3592. doi:10.1021/acs.est.5b04577

[7]Kim, Y., & Park, S. (2012). Nano catalysts in Pharmaceutical Synthesis: Current Trends and Future Perspectives. *Organic Process Research & Development, 16*(5), 925-939. doi:10.1021/op200385m

[8]School, R., & Fischer, R. W. (2002). Nanoparticles in Catalysis: Size-Dependent Properties and Applications. *Chemical Communications, (21)*, 2409-2417. doi:10.1039/B204040