

06-04-2026

Dr Marcela Claudia Pagano  
Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brazil.  
Phone number: 0055 31-9956-22882  
E-mail: marpagano@gmail.com

**Review on the PhD thesis of Akimbek Arailym entitled “Biodesulfurization of High-Sulfur Oil Using Deep Eutectic Solvents”, submitted for the degree of Doctor of Philosophy (PhD)**

It is a pleasure to provide this review of the PhD dissertation by Akimbek Arailym, dedicated to the development and investigation of an innovative chemical and biotechnological system for the removal of organosulfur compounds from high-sulfur crude oils of Kazakhstan using deep eutectic solvents and active sulfur-oxidizing microorganisms.

As an international scientific supervisor, I worked closely with A. Akimbek throughout the entire course of her research, including discussions of experimental approaches, data processing, and interpretation of results. During our collaboration, I became convinced of her high level of scientific competence, independence, responsibility, and strong ability for critical scientific analysis.

The dissertation of A. Akimbek addresses a highly relevant and complex problem faced by the petroleum industry – the development of an environmentally friendly and energy-efficient chemical-biological technology for the desulfurization of heavy crude oils, where traditional desulfurization methods often prove insufficiently effective or economically impractical. Therefore, the study integrates modern methods of organic chemistry, microbiology, physicochemical analysis, molecular biology, and biotechnology.

The author investigated crude oil samples from the Karazhanbas, Buzachi, and Kumkol fields, identified microbial strains active in desulfurization, and synthesized new compositions of deep eutectic solvents. Particular attention was given to the dual role of deep eutectic solvents:

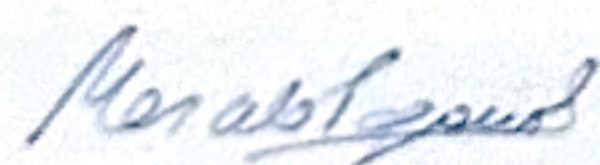
- as biostimulators enhancing the growth and enzymatic activity of microorganisms;
- as interfacial modifiers improving the accessibility of organosulfur compounds within the oil matrix.

An important outcome of the study is the establishment of the fact that the combination of deep eutectic solvents with active sulfur-oxidizing microorganisms ensures a substantial reduction in the sulfur content of the samples up to 95-96 %, which is a strong and promising indicator under laboratory conditions of heavy oil biodesulfurization.

It is also important to note the author’s significant publication activity. The main results of the research have been published in the international peer-reviewed journal Heliyon (Q1, 83rd percentile), which confirms the high scientific level of the work and its relevance to the global research community. The obtained data were also presented at international and national scientific forums, including the Frontier Symposium of Engineered Science.

Based on the analysis of the dissertation, the experimental data, and the author’s scientific maturity, I consider the work of Akimbek Arailym to meet the high international standards and requirements for dissertations submitted for the degree of Doctor of Philosophy (PhD).

I hereby recommend awarding A. Akimbek the PhD degree and emphasize the scientific significance of her research, her outstanding level of professional competence, and the strong prospects for her further academic career.



Marcela Cláudia Pagano, PhD  
Universidade Federal de Minas Gerais,  
Belo Horizonte, Brazil.

ПАРАҚТЫҢ АРҒЫ ЖАҒЫНА  
ҚАРАҢЫЗ  
СМ. НА ОБОРОТНОЙ СТОРОНЕ

6 апреля 2026 г.

Марсела Клаудия Пагано  
Ph.D., Ассоциированный профессор  
Федеральный университет Минас-Жерайс, Белу-Оризонти, Бразилия.  
Тел.: 0055 31-9956-22882  
E-mail: marpagano@gmail.com

**Отзыв на диссертационную работу Экімбек Арайлым на тему: «Биодесульфуризация высокосернистой нефти глубокими эвтектическими растворителями», представленную на соискание степени доктора философии (PhD)**

С большим удовольствием предоставляю рецензию на диссертацию (PhD) Экімбек Арайлым. Работа посвящена разработке и всестороннему исследованию инновационного химико-биотехнологического подхода к удалению органосернистых соединений из высокосернистых сырьевых нефтей Казахстана. Исследование эффективно сочетает использование глубоких эвтектических растворителей с активными сероокисляющими микроорганизмами, предлагая новый и экологически значимый метод биодесульфуризации.

В качестве международного научного руководителя, я тесно сотрудничала с Экімбек Арайлым на протяжении всего периода её исследования, включая обсуждение экспериментальных подходов, обработку данных и интерпретацию результатов. В ходе нашего сотрудничества я убедился в её высоком уровне научной компетентности, самостоятельности, ответственности, а также в сильных навыках критического научного анализа.

Диссертация Экімбек Арайлым посвящена крайне актуальной и сложной проблеме, с которой сталкивается нефтяная промышленность — разработке экологически безопасной и энергоэффективной химико-биологической технологии десульфуризации тяжёлых нефтей, где традиционные методы десульфуризации часто оказываются недостаточно эффективными или экономически нецелесообразными. В связи с этим исследование интегрирует современные методы органической химии, микробиологии, физико-химического анализа, молекулярной биологии и биотехнологии.

Автором исследованы нефтяные образцы месторождений Каражанбас, Бузачи и Кумколь, проведена идентификация активных штаммов микроорганизмов, а также синтезированы новые композиции глубоких эвтектических растворителей. Особое внимание уделено двойной роли глубоких эвтектических растворителей:

- как биостимуляторов роста и ферментативной активности микроорганизмов;
- как модификаторов межфазной поверхности, повышающих доступность серосодержащих соединений в нефтяной матрице.

Важным результатом работы является установление того факта, что сочетание глубоких эвтектических растворителей с активными сероокисляющими микроорганизмами обеспечивает значительное снижение массовой доли серы в образцах до 95-96 %, что является выдающимся показателем в условиях лабораторной биодесульфуризации тяжелых нефтей.

Следует также отметить значительную публикационную активность автора. Основные результаты исследования опубликованы в международном рецензируемом журнале Heliyon (Q1, перцентиль 80 %), что подтверждает высокий научный уровень работы и её актуальность для мирового научного сообщества. Полученные данные были представлены на международных и национальных научных форумах: Frontier Symposium of Engineered Science.

На основе анализа диссертации, экспериментальных данных и научной зрелости автора я считаю, что работа Экімбек Арайлым соответствует высоким международным стандартам и требованиям к диссертациям, представленным на соискание степени доктора философии (PhD).

Настоящим я рекомендую присвоить Экімбек Арайлым степень PhD и подчеркиваю научную значимость её исследования, выдающийся уровень профессиональной компетентности и большие перспективы для дальнейшей академической карьеры.

/ ЭЛЕКТРОННАЯ ПОДПИСЬ /

**Марсела Клаудия Пагано, PhD**

Федеральный университет Минас-Жерайс, Белу-Оризонти, Бразилия

