

Polish journal of science

POLISH JOURNAL OF SCIENCE

№101 (2026)

ISSN 3353-2389

Polish journal of science:

- has been founded by a council of scientists, with the aim of helping the knowledge and scientific achievements to contribute to the world.
- articles published in the journal are placed additionally within the journal in international indexes and libraries.
- is a free access to the electronic archive of the journal, as well as to published articles.
- before publication, the articles pass through a rigorous selection and peer review, in order to preserve the scientific foundation of information.

Editor in chief – J an Kamiński, Kozminski University

Secretary – Mateusz Kowalczyk

Agata Żurawska – University of Warsaw, Poland

Jakub Walisiewicz – University of Lodz, Poland

Paula Bronisz – University of Wrocław, Poland

Barbara Lewczuk – Poznan University of Technology, Poland

Andrzej Janowiak – AGH University of Science and Technology, Poland

Frankie Imbriano – University of Milan, Italy

Taylor Jonson – Indiana University Bloomington, USA

Remi Tognetti – Ecole Normale Supérieure de Cachan, France

Bjørn Evertsen – Harstad University College, Norway

Nathalie Westerlund – Umea University, Sweden

Thea Huszti – Aalborg University, Denmark

Aubergine Cloez – Université de Montpellier, France

Eva Maria Bates – University of Navarra, Spain

Enda Baci – Vienna University of Technology, Austria

Also in the work of the editorial board are involved independent experts

1000 copies

POLISH JOURNAL OF SCIENCE

Wojciecha Górskiego 9, Warszawa, Poland, 00-033

email: editor@poljs.com

site: <http://www.poljs.com>

CONTENT

ART

Maryshchuk T.

THE USE OF MODERN TECHNOLOGIES IN
STRUCTURAL AND TEXTURAL DESIGN, BRAND
MANAGEMENT, AND MARKETING STRATEGIES IN THE
FASHION DESIGNERS' ACTIVITY 3

BIOLOGICAL SCIENCES

Lis R., Aladyeva T.

THE EFFECT OF ANTIBODIES AGAINST RAT FETAL
ANTIGENS ON THE CONDITION OF FETUSES AND THE
MOTHER'S SPLEEN DURING PREGNANCY 9

CHEMICAL SCIENCES

Ravshanov M., Aronbaev S., Aronbaev D.

SULFUR-CONTAINING COMPOUNDS IN PETROLEUM
AND MOTOR FUELS: OCCURRENCE, ANALYTICAL
DETERMINATION, ENVIRONMENTAL IMPACT, AND
ADVANCES IN DESULFURIZATION TECHNOLOGIES ... 15

Klimko Yu., Koshchii I.

SYNTHESIS OF ADAMANTYL DERIVATIVES OF
ALDIZINE. DERIVATIVES CONTAINING AN
ACYLHYDRAZONE FRAGMENT 22

ECONOMIC SCIENCES

Ratnikov D., Shyliuk P.,

Fesun A., Petrenko O.

METHODOLOGY FOR DEVELOPING THE ECONOMIC
ADAPTABILITY OF CONSTRUCTION ENTERPRISES
UNDER MULTILEVEL UNCERTAINTY 27

MEDICAL SCIENCES

Azamatov A., Rakhimov J.,

Abdullayev A., Ergashova M.,

Okhundedayev B., Botirov R.

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE ANALGESIC
ACTIVITY OF A FRACTION ISOLATED FROM *PHLOMIS*
THAPSOIDES L. 32

ART

ВИКОРИСТАННЯ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ КОНСТРУКТИВНО-ФАКТУРНОГО ФОРМОУТВОРЕННЯ ТА БРЕНД-МЕНЕДЖМЕНТ І МАРКЕТИНГОВІ СТРАТЕГІЇ У ДІЯЛЬНОСТІ ДИЗАЙНЕРІВ ОДЯГУ

Маришук Т.

*Кандидат мистецтвознавства,
доцент кафедри дизайну і теорії мистецтва
Карпатського національного університету імені Василя Стефаника
м. Івано-Франківськ, Україна*

THE USE OF MODERN TECHNOLOGIES IN STRUCTURAL AND TEXTURAL DESIGN, BRAND MANAGEMENT, AND MARKETING STRATEGIES IN THE FASHION DESIGNERS' ACTIVITY

Maryshchuk T.

*PhD in Art Studies, Associate Professor
Department of Design and Theory of Art
Vasyl Stefanyk Carpathian National University
Ivano-Frankivsk, Ukraine
DOI: [10.5281/zenodo.22077638](https://doi.org/10.5281/zenodo.22077638)*

Анотація

У статті досліджено особливості конструктивно-фактурного формоутворення в дизайні одягу в контексті інтеграції сучасних технологічних процесів, формування стилю, маркетингових технологій та бренд-менеджменту. Актуальність дослідження зумовлена необхідністю комплексного підходу до проектування сучасного одягу, що поєднує художньо-естетичні, конструктивно-технологічні та комунікаційно-маркетингові аспекти створення конкурентоспроможного дизайнерського продукту.

Abstract.

The article investigates the peculiarities of constructive-textural form generation in fashion design within the context of integrating modern technological processes, style formation, marketing technologies, and brand management. The relevance of the research is determined by the need for a comprehensive approach to clothing design that combines artistic, aesthetic, technological, and marketing aspects to create competitive fashion products.

Ключові слова: конструктивно-фактурне формоутворення; дизайн одягу; технологічні процеси; формування стилю; реклама і маркетингові технології в дизайні одягу; мода і стилістика; бренд-менеджмент; маркетинг у сфері моди; імідж-дизайн.

Keywords: constructive-textural form generation; fashion design; technological processes; style formation; advertising and marketing technologies in fashion design; fashion and stylistics; brand management; fashion marketing; image design.

Сучасні колекції одягу свідчать, що конструктивно-фактурне формоутворення дедалі частіше виступає не лише художнім прийомом, а й стратегічним інструментом створення конкурентних переваг бренду. Інтеграція цифрових технологій, інноваційних матеріалів та сучасних виробничих процесів дає змогу формувати унікальну дизайнерську мову, яка стає важливою складовою позиціонування бренду на світовому ринку. Показовим прикладом є творчість українського бренду FROLOV, у колекціях якого конструктивні рішення

поєднуються з ручною вишивкою, декоративним оздобленням, прозорими матеріалами та складними технологіями обробки текстилю. Використання корсетних конструкцій у поєднанні з сучасними матеріалами формує виразний художній образ, що вирізняє бренд серед інших представників української модної індустрії [12]. У цьому випадку конструктивно-фактурне формоутворення виконує не лише естетичну, а й комунікаційну функцію, підкреслюючи впізнаваність авторського стилю (Іл.1).



(Іл.1) Конструктивно-фактурне формоутворення у колекції бренду FROLOV (використання корсетних конструкцій).

Іншим прикладом є український бренд BEVZA, дизайнерська концепція якого ґрунтується на мінімалізмі, чіткій геометрії конструкцій та використанні природної пластики тканин. Конструктивно-фактурне формоутворення реалізується через лаконічні силуети, точність конструктивних ліній і високоякісні натуральні матеріали (Іл.2).

Такий підхід демонструє, що художня виразність може досягатися не лише складними декоративними елементами, а й гармонійним поєднанням конструкції, пропорцій та фактури матеріалу. Саме це формує стійку візуальну ідентичність бренду на міжнародному ринку [11].



(Іл.2) Мінімалістичне конструктивне формоутворення у колекції бренду BEVZA (геометричні силуети, лаконічні конструктивні рішення).

Важливе місце серед українських дизайнерів посідає бренд Litkovska, у творчості якого активно використовуються принципи деконструкції, асиметрії, багатошаровості та трансформації конструктивних елементів. Застосування нетрадиційних конструктивних рішень дозволяє створювати динамічні

форми, що змінюють візуальне сприйняття виробу залежно від способу його носіння [13]. Це свідчить про перехід від традиційного конструювання до концептуального проектування, де конструкція стає основним носієм художньої ідеї (Іл.3).



(Іл.3) Використання принципів деконструкції та трансформації конструкції у колекції бренду Litkovska.

Серед міжнародних брендів одним із найбільш показових є Iris van Herpen, колекції якої демонструють принципово новий підхід до конструктивно-фактурного формоутворення [14]. Дизайнерка активно використовує тривимірний друк, алгоритмічне моделювання, лазерні технології та біоматеріали, створюючи складні пластичні структури, що

поєднують властивості моди, архітектури та цифрового мистецтва. У її роботах конструкція, фактура і технологія утворюють єдину художню систему, яка визначає перспективні напрями розвитку сучасного дизайну одягу (Іл.4).



(Іл.4) Застосування 3D-друку та алгоритмічного моделювання у високій моді на прикладі колекції Iris van Herpen.

Не менш важливим є досвід бренду Issey Miyake, який одним із перших інтегрував технології промислового плісирування у процес формування конструкції виробу (Іл.5). Серія Pleats Please демонструє можливість використання техно-

логічних процесів як основного засобу формоутворення. Завдяки спеціальній технології термічного закріплення складок дизайнери отримали змогу створювати вироби, що поєднують пластичність, функціональність, мобільність та художню виразність [15].



(Іл.5) Технологія промислового плісирування у колекціях PLEATS PLEASE ISSEY MIYAKE.

Інноваційні підходи до роботи з матеріалами простежуються також у колекціях бренду Alexander McQueen, де конструктивно-фактурне формоутворення базується на поєднанні традиційних технологій крою з цифровим моделюванням, лазерною об-

робкою матеріалів та складними видами декоративного оздоблення [16]. Це забезпечує створення складних силуетних композицій, які одночасно виконують естетичну, емоційну та комунікативну функції (Іл.6).



(Іл.6) Поєднання цифрових технологій, складного крою та декоративного оздоблення у колекції Alexander McQueen.

Аналіз дає підстави стверджувати, що незалежно від концепції бренду сучасне конструктивно-фактурне формоутворення розвивається за кількома взаємопов'язаними напрямками: цифровізація процесу проектування, використання інноваційних матеріалів, інтеграція високотехнологічних способів обробки текстилю, персоналізація дизайнерського продукту та посилення ролі брендингу. Саме комплексне поєднання цих складових забезпечує

формування впізнаваної дизайнерської мови, створення емоційної цінності продукту та підвищення його конкурентоспроможності на світовому ринку [8].

Отримані результати підтверджують, що сучасні технологічні процеси безпосередньо впливають на розвиток конструктивно-фактурного формоутворення та змінюють традиційні підходи до

проектування одягу. Водночас успішність дизайнерського продукту визначається не лише рівнем технологічних інновацій, а й здатністю інтегрувати їх у цілісну художню концепцію, що відповідає стратегії бренду, актуальним тенденціям моди та очікуванням цільової аудиторії. Це дає підстави розглядати конструктивно-фактурне формоутворення як один із ключових чинників розвитку сучасної модної індустрії [6].

Проведений аналіз сучасного ринку моди свідчить, що успішні бренди використовують конструктивно-фактурне формоутворення як один із головних інструментів бренд-позиціонування. Наприклад, український бренд BEVZA сформував власну ринкову ідентичність завдяки мінімалістичній естетиці, чітким конструктивним рішенням, використанню натуральних матеріалів та стриманій кольоровій гамі. Саме послідовність дизайнерської концепції забезпечила бренду високий рівень упізнаваності на міжнародному ринку [9].

Іншу стратегію реалізує бренд FROLOV, який акцентує увагу на складних конструктивних формах, корсетних технологіях, прозорих тканинах, ручній вишивці та декоративних елементах. Конструктивно-фактурне формоутворення у цьому випадку стає основою емоційної комунікації бренду зі споживачем і формує його преміальний імідж. Завдяки поєднанню високої якості виконання, авторської стилістики та активної присутності у світовому інформаційному просторі бренд зміцнив свої позиції в сегменті сучасної моди [4].

Показовим прикладом міжнародного бренд-менеджменту є діяльність Iris van Herpen, яка побудувала позиціонування бренду на поєднанні високих технологій, наукових досліджень і цифрового мистецтва. Використання 3D-друку, параметричного моделювання, інноваційних матеріалів і міждисциплінарної співпраці стало основою унікальної ідентичності бренду та його впізнаваності у світовій індустрії haute couture. У цьому випадку технологічні інновації є не лише виробничим інструментом, а й важливим елементом бренд-комунікації [7].

У сучасних умовах розвитку цифрового середовища ефективність бренд-менеджменту значною мірою визначається використанням маркетингових комунікацій. Соціальні мережі, цифрові презентації колекцій, відеоконтент, співпраця з інфлюенсерами, інтерактивні платформи та електронна комерція стали невід'ємними інструментами просування дизайнерських брендів.

Це дозволяє не лише збільшувати охоплення аудиторії, а й формувати довгострокову емоційну взаємодію зі споживачами [9].

Аналіз дозволяє виокремити основні складові ефективного бренд-менеджменту у сфері дизайну одягу: наявність цілісної дизайнерської концепції; використання конструктивно-фактурного формоутворення як елемента візуальної ідентичності; упровадження сучасних технологій проектування і виробництва; системне застосування маркетингових комунікацій; підтримання стабільної якості

продукції; формування позитивного іміджу бренду та розвиток емоційної лояльності споживачів [2].

Взаємодія цих складових забезпечує стійке позиціонування бренду та його конкурентоспроможність у динамічному середовищі модної індустрії.

Бренд-менеджмент у сучасному дизайні одягу слід розглядати як інтегровану систему управління, у якій конструктивно-фактурне формоутворення виконує не лише художньо-естетичну, а й стратегічну функцію. Воно формує унікальну візуальну мову бренду, підсилює його комунікаційну ефективність, сприяє створенню конкурентних переваг і забезпечує довгостроковий розвиток дизайнерського продукту на національному та міжнародному ринках. Такий комплексний підхід підтверджує, що взаємозв'язок дизайну, технологій і бренд-менеджменту є одним із визначальних чинників розвитку сучасної індустрії моди [10].

Стрімкий розвиток цифрової економіки та глобалізація модної індустрії суттєво трансформували підходи до просування дизайнерських брендів.

У сучасних умовах успішність бренду визначається не лише художньою якістю виробів чи рівнем технологічного виконання, а й ефективністю маркетингових комунікацій, силою візуальної ідентичності та здатністю формувати стійкий емоційний зв'язок зі споживачем. Саме тому маркетингові технології та імідж-дизайн стали невід'ємними складовими розвитку сучасного бренду одягу [7].

Маркетингові технології у сфері моди охоплюють систему інструментів, спрямованих на дослідження споживчої поведінки, аналіз ринкових тенденцій, формування конкурентних переваг і просування дизайнерського продукту. На відміну від традиційного маркетингу, fashion-маркетинг базується на поєднанні економічних механізмів із художньою складовою, де емоційне сприйняття бренду часто має вирішальне значення під час прийняття рішення про купівлю. Одним із найважливіших інструментів сучасного просування є цифрові маркетингові комунікації [1].

Соціальні мережі, спеціалізовані онлайн-платформи, електронна комерція, відеомаркетинг, інтерактивні презентації колекцій, цифрові покази мод та співпраця з лідерами громадської думки забезпечують безпосередній контакт між брендом і потенційним споживачем. Використання цих технологій дозволяє оперативно реагувати на зміни модних тенденцій, аналізувати поведінку аудиторії та персоналізувати комунікацію відповідно до потреб різних груп споживачів [5].

Сучасна практика свідчить, що провідні українські дизайнери дедалі активніше інтегрують маркетингові технології у процес створення та просування колекцій. Так, бренд BEVZA послідовно використовує концепцію «тихої розкоші» (quiet luxury), підтримуючи її в усіх елементах комунікації — від архітектури колекцій і стилістики рекламних кампаній до оформлення цифрових платформ. Єдність конструктивних рішень, натуральних матеріалів і мінімалістичної візуальної мови забезпечує бренду впізнаваність на міжнародному ринку [11].

Бренд FROLOV реалізує іншу маркетингову модель, засновану на емоційному позиціонуванні. Використання сценічних образів, співпраця з відомими артистами, активна присутність у міжнародному інформаційному просторі та демонстрація складних технологій ручного оздоблення формують стійкі асоціації з ексклюзивністю, майстерністю та сучасною українською модою. У цьому випадку імідж бренду створюється завдяки поєднанню конструктивно-фактурного формоутворення, художньої концепції та ефективних маркетингових комунікацій [12].

Показовим міжнародним прикладом є бренд Iris van Herpen, який вибудував власну маркетингову стратегію на основі міждисциплінарної взаємодії моди, науки, архітектури та цифрових технологій. Демонстрація інноваційних технологічних процесів — 3D-друку, параметричного моделювання, використання біоматеріалів — стала невід'ємною складовою бренд-комунікації. У результаті технологічні інновації перетворюються на потужний маркетинговий інструмент, який формує унікальне позиціонування бренду у світовій модній індустрії [14].

Проведене дослідження дає підстави стверджувати, що найбільш ефективні маркетингові стратегії сучасних брендів ґрунтуються на комплексній інтеграції художньої концепції, конструктивно-фактурного формоутворення, технологічних інновацій та цифрових комунікацій. Саме узгодженість дизайнерських, технологічних і маркетингових рішень забезпечує формування цілісної візуальної ідентичності бренду, підвищує його впізнаваність і створює додану цінність продукції в очах споживача [2].

Таким чином, маркетингові технології та імідж-дизайн у сучасній індустрії моди виконують не лише комерційну, а й стратегічну функцію. Вони забезпечують ефективне позиціонування бренду, підтримують його репутацію, формують емоційну взаємодію зі споживачем і сприяють довгостроковому розвитку дизайнерського бізнесу. Авторський аналіз дозволяє зробити висновок, що конкурентоспроможність сучасного бренду одягу визначається не окремими маркетинговими заходами, а комплексною інтеграцією конструктивно-фактурного формоутворення, технологічних процесів, бренд-менеджменту та імідж-дизайну в єдину систему стратегічного управління брендом. На основі аналізу колекцій українських брендів BEVZA, FROLOV, Litkovska та міжнародних брендів Iris van Herpen, PLEATS PLEASE ISSEY MIYAKE, Alexander McQueen встановлено, що технологічні інновації є не лише засобом удосконалення виробничих процесів, а й важливим чинником бренд-позиціонування. Успішні бренди інтегрують сучасні технології у власну дизайнерську концепцію, формуючи унікальний художній образ, який забезпечує впізнаваність продукції на міжнародному ринку [10].

Ефективний бренд-менеджмент у дизайні одягу базується на комплексному поєднанні конструктивно-фактурного формоутворення, технологічних процесів, маркетингових комунікацій та

імідж-дизайну. Використання цифрових маркетингових інструментів, візуальної айдентики, контент-маркетингу, соціальних мереж і сучасних засобів комунікації сприяє формуванню позитивного іміджу бренду, підвищенню його конкурентоспроможності та зміцненню лояльності цільової аудиторії.

Наукова новизна дослідження полягає у комплексному обґрунтуванні взаємозв'язку конструктивно-фактурного формоутворення, сучасних технологічних процесів, формування стилю, бренд-менеджменту та маркетингових технологій як єдиної системи проектування і просування дизайнерського продукту. Запропонований інтегрований підхід дозволяє розглядати конструктивно-фактурне формоутворення не лише як художньо-конструктивний процес, а і як стратегічний інструмент створення конкурентних переваг сучасного бренду одягу [8].

Отже, практичне значення отриманих результатів полягає у можливості їх використання під час проектування авторських і промислових колекцій одягу, розроблення бренд-стратегій, навчального процесу за спеціальністю «Дизайн», а також у професійній діяльності дизайнерів, конструкторів, технологів, маркетологів і фахівців з бренд-менеджменту підприємств модної індустрії.

References

1. Burns L. D., Mullet K. K. *The Business of Fashion: Designing, Manufacturing, and Marketing*. 6th ed. New York: Bloomsbury Publishing, 2020. 288p.
2. Posner H. *Marketing Fashion: Strategy, Branding and Promotion*. 3rd ed. London: Laurence King Publishing, 2024. 288 p.
3. Wheeler A., Meyerson R. *Designing Brand Identity: A Comprehensive Guide to the World of Brands and Branding*. 6th ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2024. 352 p.
4. Golizia D. *The Fashion Business: Theory and Practice in Strategic Fashion Management*. London: Routledge, 2021. 238 p.
5. Costin L., Barnes L. (Eds.). *Fashion Marketing: The Contemporary Marketing Mix*. Cham: Springer Nature, 2025.
6. Renfrew E., Lynn T. *Developing a Fashion Collection*. 3rd ed. London: Bloomsbury Publishing, 2021.
7. Cao S., Chai W., Hao S. et al. *DiffFashion: Reference-based Fashion Design with Structure-aware Transfer by Diffusion Models*. 2023.
8. He K., Yao K., Zhang Q. et al. *DressCode: Autoregressively Sewing and Generating Garments from Text Guidance*. 2024.
9. Yuan C., Moghaddam M. *Garment Design with Generative Adversarial Networks*. 2020.
10. Zhu H., Cao Y., Jin H. et al. *Deep Fashion3D: A Dataset and Benchmark for 3D Garment Reconstruction from Single Images*. 2020.
11. BEVZA <https://bevza.com>
12. FROLOV <https://frolov.fr>
13. LITKOVSKA <https://litkovska.com>
14. Iris van Herpen <https://www.irisvanherpen.com>
15. PLEATS PLEASE ISSEY MIYAKE <https://www.isseymiyake.com>
16. Alexander McQueen <https://www.alexandermcqueen.com>

BIOLOGICAL SCIENCES

ВЛИЯНИЕ АНТИТЕЛ ПРОТИВ АНТИГЕНОВ ПЛОДОВ КРЫС НА СОСТОЯНИЕ ПЛОДОВ И СЕЛЕЗЕНКИ МАТЕРИ ВО ВРЕМЯ БЕРЕМЕННОСТИ

*Лис Р.Е.,
Аладьева Т.Л.*

Гродненский государственный медицинский университет, Гродно, Беларусь

THE EFFECT OF ANTIBODIES AGAINST RAT FETAL ANTIGENS ON THE CONDITION OF FETUSES AND THE MOTHER'S SPLEEN DURING PREGNANCY

*Lis R.,
Aladyeva T.*

Grodno State Medical University, Grodno, Belarus

DOI: [10.5281/zenodo.22077650](https://doi.org/10.5281/zenodo.22077650)

Аннотация

Цель. Определение коэффициента постимплантационной гибели плодов, их массы и возможных изменений клеточного состава разных зон селезёнки матери при введении антител против антигенов плода в организм самок белых крыс во время беременности.

Материал и методы. Исследование проведено на 16 беременных самках белых крыс и полученных от них плодах. Антитела против плодных антигенов были получены путем сенсibilизации небеременных intactных самок крыс суспензией селезенки, печени, головного мозга плодов на полном адьюванте Фрейнда. Животным подопытных групп вводилась иммунная сыворотка против плодных антигенов однократно, внутривбрюшинно на 15-й день беременности. На 20-й день беременности определяли показатели постимплантационной гибели зародышей, массу плодов. На гистологических препаратах селезенки беременных самок крыс производили цитометрию в центрах размножения, мантии и маргинальной зоне фолликулов, в периаартериальных муфтах и в красной пульпе.

Результаты. Антитела против плодных антигенов, введенные в организм беременной самки белых крыс во вторую половину беременности не приводят к увеличению коэффициента постимплантационной гибели зародышей и изменению массы зародышей, а также к значительному изменению клеточного состава различных зон лимфатических фолликулов, периаартериальных муфт и красной пульпы селезенки матери.

Выводы. Основным фактором внутриутробного выживания плода является плацента.

Abstract

Objective. Determination of the coefficient of post-implantation fetal death, their weight and possible changes in the cellular composition of different zones of the mother's spleen when antibodies against fetal antigens are injected into the body of female white rats during pregnancy.

Materials and methods. The study was conducted on 16 pregnant female white rats and their fetuses. Antibodies against fetal antigens were obtained by sensitizing nonpregnant intact female rats with a suspension of the spleen, liver, and brain of fetuses on a full Freund adjuvant. The animals of the experimental groups were injected with immune serum against fetal antigens once, intraperitoneally on the 15th day of pregnancy. On the 20th day of pregnancy, the indicators of post-implantation death of embryos and the weight of fetuses were determined. Cytometry was performed on histological preparations of the spleen of pregnant female rats in the germinal centers, mantle and marginal zone of follicles, in periaarterial zones and in red pulp.

Results. Antibodies against fetal antigens injected into the body of pregnant female white rats in the second half of pregnancy do not lead to an increase in the coefficient of post-implantation death of embryos and a change in the mass of embryos, as well as to a significant change in the cellular composition of various zones of lymphatic follicles, periaarterial clutches and red pulp of the mother's spleen.

Conclusions. The main factor in fetal survival is the placenta.

Ключевые слова: беременность, антитела против антигенов плода, селезёнка матери, плацента.

Keywords: pregnancy, antibodies against fetal antigens, maternal spleen, placenta.

Введение

Существование любого государства напрямую связано с его демографией. Современная тенденция демографической ситуации практически во всех странах мира, а особенно в Европе, является вызовом для существования их в исторической перспективе. Снижение рождаемости вызывается многими

причинами, одной из которых выступает невынашивание беременности. Следовательно, исследования, направленные на изучение причин невынашивания беременности, являются актуальными [5,6].

Беременность представляет собой уникальную иммунологическую парадигму, при которой иммунная система матери должна адаптироваться для защиты как матери, так и развивающегося плода от

различных патогенов, одновременно перенося полуаллогенные ткани плода [11, 12].

Успешная переносимость полуаллогенного плода матерью создает очевидный иммунологический парадокс. Беременность человека обычно считается природным аллотрансплантатом, но на самом деле трансплантатом скорее является плацента, а не плод. Плацента и является тем органом, который, анатомически разделяя ткани матери и плода, позволяет избежать иммунологического распознавания и последующего отторжения тканей плода и прекращения беременности.

При этом задействованы дополнительные механизмы для сохранения плаценты на весь период беременности: изменение экспрессии молекул человеческих лейкоцитарных антигенов (human leucocyte antigen, HLA) в плаценте; подавление иммунитета, опосредованного материнскими клетками [8]. То есть формируется толерантность, в первую очередь, к антигенам плаценты, которые являются следствием экспрессии, в том числе, и отцовских генов.

В наших предыдущих исследованиях влияния антигенов плода и плаценты на антенатальное развитие потомства была показано на примере изменения клеточного состава различных зон селезенки матери, что антигены плаценты являются менее иммуногенными, чем антигены плода, что даёт возможность сохранять беременность столь длительный срок, разобщая иммунную систему матери и антигены плода [4].

Дополнительным доказательством ведущей роли плаценты в разобщении иммунной системы матери и организма плода может явиться состояние зародышей в условиях нахождения антител против антигенов плода в организме матери во время беременности. В этом случае, при прохождении антител против антигенов плода через плацентарный барьер, ожидается реакция хозяина против трансплантата, что в свою очередь должно отразиться на состоянии развития зародышей. Состояние развития зародышей можно оценить по коэффициенту постимплантационной гибели и массе плодов.

Морфологическим субстратом, отражающим функциональное состояние иммунной системы матери при беременности, является клеточный состав периферических иммунокомпетентных органов, одним из которых выступает селезенка. Изменение клеточного состава в разных зонах селезенки может выступать в качестве индикатора состояния иммунной системы матери во время беременности.

Поэтому целью исследования явилось определение коэффициента постимплантационной гибели плодов, их массы и возможных изменений клеточного состава разных зон селезенки матери при введении антител против антигенов плода в организм самок белых крыс во время беременности.

Материал и методы.

В эксперименте по изучению действия антител против плодных и плацентарных антигенов на состояние селезенки беременной самки было использовано 16 беременных самок белых крыс на 20-й день беременности (ДБ). Масса самок составляла

200 - 250 граммов. Из них были образованы 3 подопытных и одна интактная группы. Животные подопытных и интактной групп содержались в стандартных условиях вивария с соблюдением требований, изложенных в Хельсинской декларации о гуманном обращении с животными.

Антитела против плодных и плацентарных антигенов (АТ) были получены путем сенсибилизации небеременных интактных самок крыс суспензией селезенки, печени, головного мозга плодов на полном адьюванте Фрейнда [1]. Животным подопытных групп вводилась иммунная сыворотка против плодных антигенов однократно, внутривентриально на 15-й ДБ в объёме 2 мл на 1 кг массы животного (Первым днем беременности считается день обнаружения сперматозоидов во влагалищном мазке). Животные интактных групп никаким воздействием не подвергались.

Беременных самок подопытных и интактной групп декапитировали на 20-й день беременности под эфирным наркозом. У беременных самок выделяли селезенку и матку с плодами. После вскрытия маток подсчитывали количество мест имплантации и живых плодов для определения коэффициента постимплантационной гибели плодов, а также определяли массу плодов. Коэффициент постимплантационной гибели плодов - частное от деления разности между количеством мест имплантации и количеством живых плодов и количеством мест имплантации. Кусочки селезенки фиксировали в смеси Карнуа. Кусочки селезенки, зафиксированные в смеси Карнуа, заливали в парафин и готовили из них гистологические препараты, которые окрашивали гематоксилином-эозином [3].

На гистологических препаратах селезенки производили цитометрию в центрах размножения, мантии и маргинальной зоне фолликулов; в периартериальных муфтах и в красной пульпе с использованием компьютерного анализатора изображений BIOSCAN NT на площади 10000 мкм² (0,01 мм²) при увеличении объектива X 100. При этом учитывали количество малых и средних лимфоцитов, лимфобластов, плазмоцитов. Лимфобласты учитывались герминативных центрах фолликулов; плазмоциты - в маргинальной зоне фолликулов и красной пульпе.

Оценку достоверности изменения численных значений проводили с помощью методов непараметрической статистики. В описательной статистике для каждого численного показателя определяли значения медианы и интерквартильного диапазона. Сравнение групп по одному из признаков проводили с помощью критерия Манна-Уитни для независимых выборок. Различия между показателями считали статистически достоверными, если вероятность ошибочной оценки не превышала 5% ($p < 0,05$).

Результаты исследования и их обсуждение.

При введении АТ против АГ селезенки плода у беременных животных достоверные различия в количестве клеток в селезенке матери наблюдались только в маргинальной зоне фолликулов. Регистри-

ровалось достоверное уменьшение количества малых лимфоцитов на 64,5 % по сравнению с интактными животными (Табл. 1). В красной пульпе селезёнки, центрах размножения и мантии лимфоидных

фолликулов, периартериальных муфтах достоверных различий с интактными показателями в клеточном составе не наблюдалось.

Таблица 1.

Количество малых лимфоцитов на 0,01 мм² площади среза селезёнки самок белых крыс подопытных и интактной групп на 20-й день беременности при введении им антител против антигенов селезёнки, головного мозга и печени плода (Ме (Q25/Q75), % к интактным).

	Антитела против антигенов селезёнки (n = 3)	Антитела против антигенов головного мозга (n = 4)	Антитела против антигенов печени (n = 3)	Интактные (n = 6)
Герминативный центр	52,5 (46,1 / 83,8) 73,6	82,2 (68,6 / 110,5) 115,3	48,8 (48,4 / 93,8) 68,4	71,3 (59,4 / 78,4)
Мантия	148,8 (118,8/188,8) 60,4	208,8 (182,5/218,8) 84,8	204,7 (185,0/228,1) 83,1	246,3 (207,2/269,4)
Маргинальная зона	31,3* (29,7 / 37,5) 35,5	51,6* (43,4 / 66,9) 58,6	53,1 (46,9 / 61,3) 60,3	88,1 (82,2/105,2)
Периартериальная муфта	242,5 (202,5/246,3) 81,2	301,9 (239,4/318,8) 101,0	255,0 (226,2/275,0) 85,3	298,8 (261,3/310,0)
Красная пульпа	23,8 (22,5 / 32,5) 79,3	28,1 (24,4 / 32,5) 93,7	23,8 (18,8 / 27,5) 79,3	30,0 (23,8 / 36,9)

Примечание – * – статистически достоверные различия с интактными показателями при $p \leq 0,05$.

При введении АТ против АГ головного мозга плодов достоверные различия в количестве клеток наблюдались также только в маргинальной зоне фолликулов. Происходило достоверное уменьшение количества малых лимфоцитов на 41,4 % по сравнению с интактными животными (Табл. 1). В красной пульпе селезёнки, центрах размножения и

мантии лимфоидных фолликулов, периартериальных муфтах достоверных различий с интактными показателями в клеточном составе не наблюдалось.

При введении АТ против АГ печени плода достоверных различий с интактными животными в количестве клеток во всех исследуемых зонах селезёнки не наблюдалось.

Таблица 2.

Количество средних лимфоцитов на 0,01 мм² площади среза селезёнки самок белых крыс подопытных и интактной групп на 20-й день беременности при введении им антител против антигенов селезёнки, головного мозга и печени плода (Ме (Q25/Q75), % к интактным).

	Антитела против антигенов селезёнки (n = 3)	Антитела против антигенов головного мозга (n = 4)	Антитела против антигенов печени (n = 3)	Интактные (n = 6)
Герминативный центр	23,8 (21,3 / 36,3) 74,6	35,2 (31,3 / 46,9) 110,3	42,3 (34,4 / 47,5) 132,6	31,9 (22,5 / 39,1)
Мантия	33,8 (26,3 / 43,8) 150,2	34,5 (29,8 / 40,8) 153,3	32,8 (22,5 / 48,4) 145,7	22,5 (19,1 / 26,1)
Маргинальная зона	22,5 (17,2 / 31,3) 90,0	41,1 (36,4 / 44,4) 165,2	39,1 (29,7 / 46,3) 156,4	25,0 (24,7 / 33,1)
Периартериальная муфта	18,8 (16,3 / 21,3) 130,5	23,8 (20,6 / 31,9) 165,2	21,3 (6,6 / 22,5) 148,9	14,4 (9,4 / 17,5)
Красная пульпа	13,8 (11,3 / 16,3) 184	12,5 (9,4 / 18,3) 166,7	10,0 (8,8 / 12,5) 133,3	7,5 (6,9 / 10,0)

Примечание – * – статистически достоверные различия с интактными показателями при $p \leq 0,05$.

Таблица 3.

Количество лимфобластов на 0,01 мм² площади среза селезёнки самок белых крыс подопытных и интактной групп на 20-й день беременности при введении им антител против антигенов селезёнки, головного мозга и печени плода (Ме (Q25/Q75), % к интактным).

	Антитела против антигенов селезёнки (n = 3)	Антитела против антигенов головного мозга (n = 4)	Антитела против антигенов печени (n = 3)	Интактные (n = 6)
Герминативный центр	22,5 (18,8 / 33,8) 38,7	39,8 (30,5 / 42,5) 68,5	40,6 (34,4 / 42,5) 69,9	58,1 (53,8 / 69,2)

Примечание – * – статистически достоверные различия с интактными показателями при $p \leq 0,05$.

Таблица 4.

Количество плазмоцитов на 0,01 мм² площади среза селезёнки самок белых крыс подопытных и интактной групп на 20-й день беременности при введении им антител против антигенов селезёнки, головного мозга, печени плода и плаценты (Ме (Q25/Q75), % к интактным).

	Антитела против антигенов селезёнки (n = 3)	Антитела против антигенов головного мозга (n = 4)	Антитела против антигенов печени (n = 3)	Интактные (n = 6)
Маргинальная зона	3,1 (2,5 / 4,7) 75,6	3,4 (1,6 / 4,4) 82,9	1,3 (0,0 / 3,1) 31,7	4,1 (1,6 / 6,4)
Красная пульпа	8,8 (6,3 / 10,0) 139,7	5,0 (4,4 / 7,5) 79,4	11,3 (10,0 / 12,5) 179,4	6,3 (5,6 / 8,8)

Примечание – * – статистически достоверные различия с интактными показателями при $p \leq 0,05$.

Введение антител против антигенов плода не приводит к статистически достоверным изменениям коэффициента постимплантационной гибели зародышей и их массы по сравнению с интактными показателями (Табл. 5, 6).

Таблица 5.

Коэффициент постимплантационной гибели зародышей у самок белых крыс подопытных и интактной групп на 20-й день беременности при введении им антител против антигенов селезёнки, головного мозга и печени плода (Ме (Q25/Q75)).

	Антитела против антигенов селезёнки (n = 3)	Антитела против антигенов головного мозга (n = 4)	Антитела против антигенов печени (n = 3)	Интактные (n = 6)
Коэффициент постимплантационной гибели зародышей	1 (0 / 3)	0 (0 / 0)	0 (0,0 / 0)	0 (0 / 0)

Примечание – * – статистически достоверные различия с интактными показателями при $p \leq 0,05$.

Таблица 6.

Масса плодов (грамм) подопытных и интактной групп на 20-й день беременности (Ме (Q25/Q75), % к интактным).

	Антитела против антигенов селезёнки (n = 3)	Антитела против антигенов головного мозга (n = 4)	Антитела против антигенов печени (n = 3)	Интактные (n = 6)
Масса плодов, г	2,29 (2,05 / 2,46) 108,0	2,31 (2,28 / 2,37) 109,0	2,32 (2,00 / 2,35) 109,4	2,12 (2,03 / 2,24)

Примечание – * – статистически достоверные различия с интактными показателями при $p \leq 0,05$.

Синцитиотрофобласт и цитотрофобласт, покрывающие ворсины хориона, не экспрессируют молекулы HLA, что достигается подавлением транскрипции молекул HLA, предотвращая классический Т-клеточный ответ на антигены плода. Соматические

клетки плода, которые полностью экспрессируют молекулы HLA, анатомически отделены от иммунной системы матери плацентарным барьером, предотвращающим прямой контакт и, таким образом, передачу антигенов плода материнским лимфоцитам. [8]

Если бы зародыш и плод трофически не были зависимы от организма матери, то эволюционно достаточно было бы плацентарного барьера: чужеродный плод развивается за плацентарным барьером, который полностью разделяет ткани матери и плода и сам не вызывает агрессии со стороны иммунной системы матери. Как пример – живорождение у неплацентарных животных. Но трофическая зависимость от организма матери привела к формированию приспособительного признака в виде развития толерантности иммунной системы матери к антигенам плода. Для обеспечения бесперебойного поступления крови к ворсинкам хориона, окружённых цито- и синцитиотрофобластом, необходимо, чтобы сосуды матки (спиральные артерии) не контролировались материнской вазомоторной системой во время беременности [10]. Это достигается их ремоделированием: превращением в обширные синусы за счёт замещения их оболочки клетками вневорсинчатого трофобласта. В этом случае клетки вневорсинчатого трофобласта внедряются в эндометрий и вступают в непосредственный контакт с иммунокомпетентными клетками матери. Для предотвращения отторжения трофобласта необходимо, чтобы клеточный иммунитет матери подвергался гипореактивному сдвигу [2].

Клетки вневорсинчатого трофобласта, которые внедряются в децидуальную оболочку матки в начале беременности, экспрессируют неклассический HLA-G класса 1b. Толерантность является основной биологической функцией HLA-G во время внутриутробного развития плода. HLA-G, экспрессируемый при внедрении вневорсинчатого трофобласта, служит лигандом для прямого связывания с рецепторами клеточной поверхности лейкоцитов, включая NK-клетки, Т-клетки разной специфичности, В-клетки и антигенпрезентирующие клетки, находящиеся в децидуальной оболочке матери, которые рекрутируются за счёт хемокинов секреторных децидуальных клеток [7, 13]. В совокупности они обеспечивают толерантность к фетальным антигенам и помогают поддерживать гомеостатическую среду, способствующую выживанию и развитию плода [9].

В нашем случае, введение в организм беременной самки крыс антител против антигенов плода не приводит к увеличению внутриутробной гибели плодов, о чём свидетельствует отсутствие статистически достоверных различий между коэффициентами постнатальной гибели зародышей подопытных и интактной групп. Также отсутствуют статистически достоверные различия между массой плодов подопытных и интактной групп. Это является косвенным доказательством анатомического разделения иммунной системы матери и плода на уровне плаценты.

Если бы отсутствовало анатомическое разделение иммунной системы матери и организма плода, то, в нашем случае, мы могли бы ожидать реакцию хозяина против трансплантата и, как следствие, увеличение коэффициента постнатальной гибели потомства и изменение массы плодов.

Кроме того, отсутствие реакции хозяина против трансплантата в нашем случае подтверждается состоянием селезёнки матери, в которой отсутствует гиперреактивный сдвиг на примере клеточного состава различных зон селезёнки и, особенно, в Т-зависимых периаартериальных муфтах.

Заключение.

Антитела против плодных антигенов, введённые в организм беременной самки белых крыс во вторую половину беременности не приводят к увеличению коэффициента постимплантационной гибели зародышей и изменению массы зародышей, а также к значительному изменению клеточного состава различных зон лимфатических фолликулов, периаартериальных муфт и красной пульпы селезёнки матери. Это свидетельствует об эффективности плацентарного барьера

References

1. АМБРОЗИУС Х. Получение сывороток от различных животных // Иммунологические методы / Под ред. Г. Фримеля. - М.: Медицина. - 1987. - С. 13 - 14.
2. Баклейчева М.О. Беспалова О.Н., Иващенко Т.Э. Роль гена HLA-G и его экспрессии в генезе привычного невынашивания беременности // Журнал акушерства и женских болезней. – 2022. – Т. 71. - № 1. С. 101 – 108.
3. Волкова О.В., Елецкий Ю.К. Основы гистологии с гистологической техникой. - М.: Наука, 1982. - 304 с.
4. Лис Р.Е., Аладьева Т.Л., Литвинюк М.М. // Международный научно-исследовательский журнал. – 2024. - № 9 (147). – С.1-6. DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.147.98>
5. Привалова Н.И. Современные тенденции демографического развития Беларуси / Н.И. Привалова, Л.С. Станишевская // Наука и инновации. – 2014. – № 2 (132). – С. 9-16.
6. Сидельникова В.М. Привычная потеря беременности. / В.М. Сидельникова. – М: Триада-X, 2005. - 303 с.
7. Kong CS., Ordoñez A.A., Turner S., et al. Embryo biosensing by uterine natural killer cells determines endometrial fate decisions at implantation // FASEB J. – 2021. – V.35 – e21336. doi:10.1096/FJ.202002217R
8. Meli F., Neri C., Iacoangeli A., Franco R., Lanzone A., Scambia G., Di Simone N. Role of Human Leukocyte Antigens at the Feto-Maternal Interface in Normal and Pathological Pregnancy // International Journal of Molecular Sciences. – 2020, V. – 21. – № 13.- 4756. Doi.org/10.3390/ijms21134756
9. Moffett A, Colucci F. J. Uterine NK cells: active regulators at the maternal-fetal interface // Clin Invest. – 2014. – V.124(5) – P. 1872-1879. doi:10.1172/JCI68107
10. Roberts VHJ., Morgan T.K., Bednarek P. Early first trimester uteroplacental flow and the progressive disintegration of spiral artery plugs: new insights from contrast-enhanced ultrasound and tissue histopathology // Human Reproduction. – 2017; V.32. - № 12. - P. 2382-2393. Doi:10.1093/humrep/dex301

11. Weng J, Couture C, Girard S. Innate and adaptive immune systems in physiological and pathological pregnancy. *Biology (Basel)* 2023;12:402. doi: 10.3390/biology12030402. [DOI] [PMC free article] [PubMed] [Google Scholar]
12. Zhang Y, Liu Z, Sun H. Corrigendum: fetal-maternal interactions during pregnancy: a 'three-in-one' perspective. *Front Immunol.* 2023;14:1249476. doi: 10.3389/fimmu.2023.1249476. [DOI] [PMC free article] [PubMed] [Google Scholar]
13. Zhuang B., Shang J., Yao Y. HLA-G: An Important Mediator of Maternal-Fetal Immune-Tolerance // *Frontiers in immunology.* – 2021. - V.12. Doi.org/10.3389/fimmu.2021.744324

CHEMICAL SCIENCES

СЕРОСОДЕРЖАЩИЕ СОЕДИНЕНИЯ В НЕФТИ И МОТОРНЫХ ТОПЛИВАХ: НАХОЖДЕНИЕ, АНАЛИТИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ, ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ И ДОСТИЖЕНИЯ В ОБЛАСТИ ТЕХНОЛОГИЙ ОБЕССЕРИВАНИЯ

Равшанов М.И.,

докторант

Аронбаев С.Д.,

доктор химических наук, профессор

Аронбаев Д.М.

кандидат химических наук, доцент

Самаркандский государственный университет им. Ш. Рашидова,

Самарканд, Узбекистан

SULFUR-CONTAINING COMPOUNDS IN PETROLEUM AND MOTOR FUELS: OCCURRENCE, ANALYTICAL DETERMINATION, ENVIRONMENTAL IMPACT, AND ADVANCES IN DESULFURIZATION TECHNOLOGIES

Ravshanov M.,

doctoral student

Aronbaev S.,

Doctor of Chemical Sciences, Professor

Aronbaev D.

Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor

Samarkand State University named after Sh. Rashidov,

Samarkand, Uzbekistan

DOI: [10.5281/zenodo.22077679](https://doi.org/10.5281/zenodo.22077679)

Аннотация

Серосодержащие соединения, естественным образом присутствующие в сырой нефти и полученном из нее топливе, остаются одними из наиболее важных загрязняющих веществ, влияющих на качество топлива, производительность нефтеперерабатывающих заводов, экологическую устойчивость и соответствие все более строгим международным топливным стандартам. Их химическое разнообразие, варьирующееся от сероводорода и меркаптанов до тугоплавких тиофеновых производных, определяет как их поведение при очистке, так и сложность их аналитического определения и удаления. В этом обзоре представлен всесторонний анализ происхождения, молекулярного распределения, физико-химических свойств и путей трансформации соединений серы в процессе переработки нефти. Особое внимание уделено влиянию соединений серы на процессы каталитической очистки, коррозию, стабильность топлива, выбросы выхлопных газов и загрязнение окружающей среды.

Критически оцениваются последние достижения в области анализа серы, включая рентгенофлуоресцентную спектроскопию, ультрафиолетовую флуоресценцию, газовую хроматографию в сочетании с селективными по сере детекторами, методы индуктивно связанной плазмы и новые подходы к электрохимическому зондированию. Приведены сравнительные характеристики, преимущества, ограничения и области применения этих методов с акцентом на чувствительность, селективность, быстроту и пригодность для лабораторного контроля качества топлива и контроля на месте.

Далее приводится обзор современного состояния технологий обессеривания, охватывающий традиционную гидрообессеривание, а также окислительные, экстрактивные, адсорбционные, мембранные, биологические и гибридные процессы. Особое внимание уделяется растущей роли современных функциональных материалов, наноструктурированных адсорбентов, ионных жидкостей, глубоко эвтектических растворителей и комплексных стратегий переработки, направленных на получение топлива со сверхнизким содержанием серы при одновременном снижении энергопотребления и воздействия на окружающую среду.

Наконец, определены основные научные задачи и направления будущих исследований, подчеркивающие необходимость в высокоизбирательных аналитических методологиях, устойчивых процессах десульфурации, цифровом мониторинге процессов и интегрированных аналитических платформах, способных поддерживать нефтепереработку нового поколения и экологически ответственное производство топлива.

Abstract

Sulfur-containing compounds naturally present in crude oil and petroleum-derived fuels remain among the most important contaminants affecting fuel quality, refinery performance, environmental sustainability, and compliance with increasingly stringent international fuel standards. Their chemical diversity, ranging from hydrogen

sulfide and mercaptans to refractory thiophenic derivatives, determines both their behavior during refining and the complexity of their analytical determination and removal. This review provides a comprehensive analysis of the origin, molecular distribution, physicochemical properties, and transformation pathways of sulfur compounds throughout petroleum processing. Particular attention is devoted to the influence of sulfur species on catalytic refining processes, corrosion, fuel stability, exhaust emissions, and environmental pollution.

Recent advances in sulfur analysis are critically evaluated, including X-ray fluorescence spectroscopy, ultraviolet fluorescence, gas chromatography coupled with sulfur-selective detectors, inductively coupled plasma techniques, and emerging electrochemical sensing approaches. The analytical performance, advantages, limitations, and application areas of these techniques are comparatively discussed with emphasis on sensitivity, selectivity, rapidity, and suitability for laboratory and on-site fuel quality control.

The review further summarizes the current state of desulfurization technologies, covering conventional hydrodesulfurization together with oxidative, extractive, adsorptive, membrane-assisted, biological, and hybrid processes. Particular emphasis is placed on the growing role of advanced functional materials, nanostructured adsorbents, ionic liquids, deep eutectic solvents, and integrated treatment strategies designed to achieve ultra-low sulfur fuel production while reducing energy consumption and environmental impact.

Finally, major scientific challenges and future research directions are identified, highlighting the need for highly selective analytical methodologies, sustainable desulfurization processes, digital process monitoring, and integrated analytical platforms capable of supporting next-generation petroleum refining and environmentally responsible fuel production.

Ключевые слова: нефть, нефтепродукты, серосодержащие соединения, десульфуризация, гидроочистка, аналитический контроль

Keywords: petroleum, petroleum products, sulfur-containing compounds, desulfurization, hydrodesulfurization, analytical control.

1. Introduction

Crude oil is a complex multicomponent system composed of a wide variety of hydrocarbon and heteroatomic compounds. In addition to hydrocarbons, petroleum contains oxygen-, nitrogen-, metal-, and sulfur-containing compounds that significantly affect the physicochemical properties of crude oil and the characteristics of its processing [1,2]. Among these heteroatomic constituents, sulfur-containing compounds are of particular importance because they largely determine the quality of petroleum products, the stability of process equipment, and the environmental characteristics of fuels [3].

Depending on sulfur content, crude oils are classified as low-sulfur, sulfurous, and high-sulfur. An increase in the concentration of sulfur compounds complicates the transportation and refining of crude oil, promotes equipment corrosion, and necessitates additional purification stages [4,5].

The composition of sulfur-containing compounds in petroleum systems is highly diverse. Crude oil contains mercaptans, sulfides, disulfides, thiophenes, benzothiophenes, and dibenzothiophenes [2]. Among them, alkyl-substituted dibenzothiophenes present the greatest technological challenge because of their high chemical stability and low reactivity under conventional hydrodesulfurization conditions [6,7].

The growing interest in sulfur removal is associated with increasingly stringent environmental regulations governing the quality of motor fuels. Current international standards limit sulfur content in gasoline and diesel fuels to approximately 10 mg/kg [8]. Compliance with these requirements has stimulated the development of highly efficient desulfurization technologies and the improvement of analytical methods for determining ultralow sulfur concentrations [9,10].

Sulfur compounds adversely affect most petroleum refining processes. Under high-temperature con-

ditions, they accelerate corrosion, cause catalyst deactivation, and contribute to the formation of resinous and coke deposits [11,12]. During fuel combustion, sulfur compounds are converted into sulfur oxides, which participate in the formation of acid precipitation and atmospheric pollution [13].

At present, sulfur in crude oil and petroleum products is determined using X-ray fluorescence [14,17], fluorescence [15], chromatographic, and electrochemical analytical methods [16,17]. Particular attention is being paid to electroanalytical systems that combine high sensitivity, the possibility of miniaturization, and rapid measurement capabilities [18–20].

Despite advances in deep purification technologies, the effective removal of refractory organosulfur compounds remains an important challenge [5,21–23]. Consequently, combined catalytic [21,24], oxidative [22,25], sorption-based [26,27], and biotechnological approaches [28,29] aimed at achieving deeper desulfurization of heavy petroleum fractions are being actively investigated.

The aim of this study was to systematize current data on the composition and distribution of sulfur-containing compounds in crude oil and to comparatively analyze methods for their analytical determination as well as technologies for sulfur removal from petroleum feedstocks and petroleum products.

2. Materials and Methods

The informational basis of the study consisted of publications from leading international peer-reviewed journals and specialized industrial editions published between 2023 and 2026, focusing on the analytical determination of sulfur, petroleum product quality monitoring, and modern desulfurization technologies [9,30].

The selection of literature sources was based on the relevance of the studies, the reliability of experimental data, the reproducibility of analytical procedures, and the practical significance of the reported re-

sults for the petroleum refining industry. The review included studies containing data on the quantitative determination of sulfur, comparative evaluations of analytical techniques, and the efficiency of sulfur removal processes.

The methodological framework of the study was based on a comparative analytical approach involving the systematization of published data and the comparison of results obtained by different research groups. The sensitivity, selectivity, limits of detection, analysis time, and sample preparation requirements of various sulfur determination methods were comparatively evaluated.

In addition, a comparative assessment of current technologies for reducing sulfur content in petroleum feedstocks was performed, including catalytic hydrosulfurization, oxidative desulfurization, sorption and extraction processes, as well as biotechnological methods for the removal of organosulfur compounds.

3. Results and Discussion

3.1. Origin and Distribution of Sulfur-Containing Compounds in Petroleum Feedstocks

The presence of sulfur in crude oil is associated with a combination of geochemical and biochemical processes occurring in sedimentary basins during the

transformation of organic matter [1–3]. Anaerobic microorganisms play a significant role in this process by reducing sulfates to hydrogen sulfide, which subsequently participates in reactions leading to the formation of organosulfur compounds [28,29].

Sulfur-containing components in petroleum occur in both inorganic and organic forms. The most common species include hydrogen sulfide, mercaptans, sulfides, disulfides, thiophenes, benzothiophenes, and dibenzothiophenes. Their quantitative distribution depends on the origin of the crude oil, the degree of its thermal maturation, and its fractional composition.

Light petroleum fractions are characterized predominantly by low-molecular-weight mercaptans and sulfides, whereas heavy distillates contain increased amounts of polycyclic aromatic sulfur compounds [1,2]. Among these compounds, alkyl-substituted dibenzothiophenes are considered the most refractory because the sulfur atom is sterically shielded by hydrocarbon substituents, significantly hindering hydrosulfurization processes [22].

Figure 1 presents a generalized scheme illustrating the distribution of the major classes of sulfur-containing compounds among petroleum fractions as a function of boiling point and molecular weight.

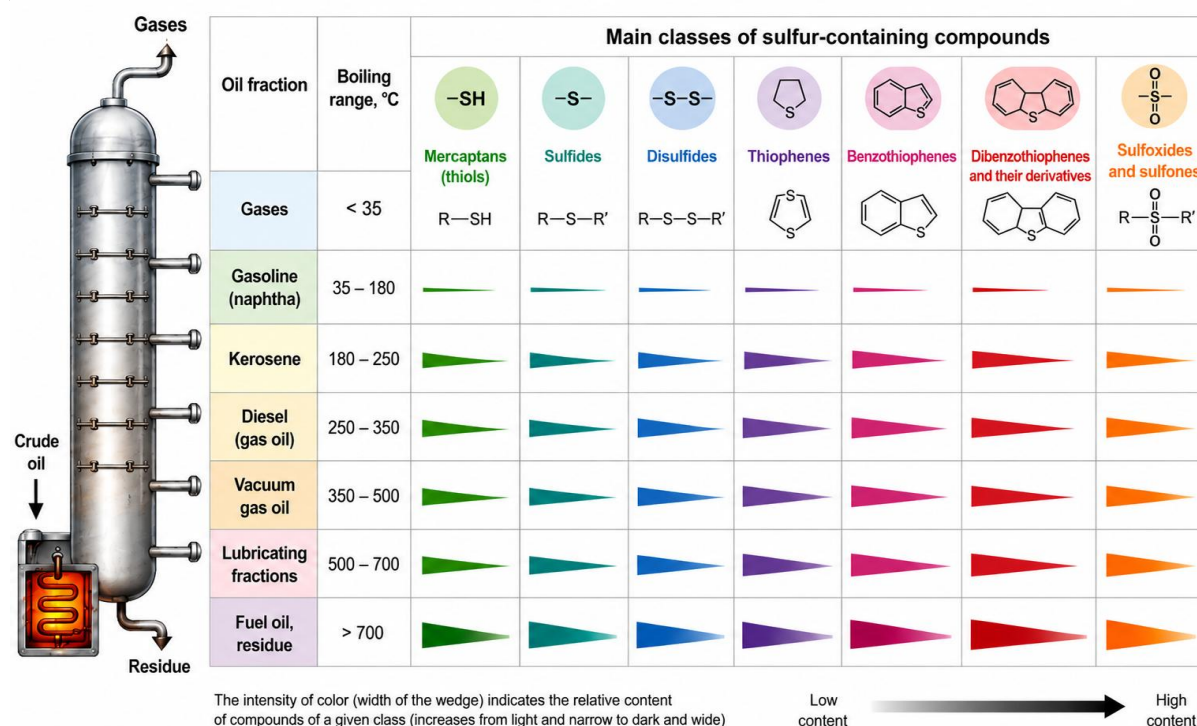


Figure 1. Distribution of the Main Classes of Sulfur-Containing Compounds in Petroleum Fractions

3.2. Influence of Sulfur-Containing Compounds on the Properties of Crude Oil and Petroleum Products

Sulfur-containing compounds exert a negative impact on petroleum refining processes, the performance characteristics of fuels, and the environmental safety of petroleum products. The most reactive sulfur species cause intensive corrosion of processing equipment, particularly in the presence of moisture and at elevated temperatures [11,12].

High-molecular-weight heterocyclic sulfur compounds are capable of participating in thermal condensation reactions leading to the formation of resinous substances and coke deposits [5]. This results in catalyst deactivation and deterioration of the operational efficiency of refining units [3,24].

The environmental consequences associated with the use of high-sulfur fuels are primarily related to the formation of sulfur oxides during fuel combustion. These compounds contribute to acid precipitation and

the generation of toxic atmospheric aerosols, thereby adversely affecting environmental quality [13].

To systematize the major consequences associated with the presence of sulfur in crude oil and petroleum products, Table 1 summarizes the most characteristic effects of different classes of sulfur-containing compounds on the technological and environmental properties of petroleum products.

The obtained data indicate that the chemical nature and distribution of sulfur-containing compounds directly determine both the technological complexity of petroleum refining and the environmental characteristics of final petroleum products. This necessitates the development of highly efficient analytical control methods and the improvement of deep desulfurization technologies.

Table 1.

Influence of the Main Classes of Sulfur-Containing Compounds on the Technological and Environmental Characteristics of Petroleum Products

Sulfur-Containing Compound	Characteristic Impact
Hydrogen sulfide	High toxicity and accelerated equipment corrosion
Mercaptans	Strong unpleasant odor, susceptibility to oxidation and corrosion
Sulfides and disulfides	Formation of resins and carbonaceous deposits
Thiophenes	Catalyst deactivation and reduced catalytic activity
Dibenzothiophenes	Resistance to hydrodesulfurization and accumulation in heavy fractions

3.3. Modern Methods for Analytical Determination of Sulfur

At present, a wide range of methods for sulfur determination in crude oil and petroleum products has been developed, including spectroscopic, chromatographic, and electrochemical approaches [9,10].

One of the most widely used techniques for total sulfur determination is ultraviolet fluorescence analysis, which is based on sample combustion followed by the determination of SO₂ according to fluorescence intensity [17]. This method is characterized by high sensitivity and good reproducibility of results.

X-ray fluorescence analysis is distinguished by its high measurement speed and minimal sample preparation requirements. Modern wavelength-dispersive systems allow sulfur determination at concentrations below 0.2 ppm [14].

Ion chromatography methods combined with thermal decomposition are employed for the analysis of heavy petroleum fractions and enable the simultaneous determination of sulfur and halogen-containing compounds.

In recent years, electrochemical analytical methods based on modified screen-printed electrodes have been actively developed [18,19]. Such systems provide high sensitivity, compact instrumentation, and the possibility of rapid on-site analysis directly at sampling locations.

Table 2 summarizes modern analytical methods used for sulfur determination in crude oil and petroleum products.

Table 2.

Modern Analytical Methods for Sulfur Determination in Crude Oil and Petroleum Products

Method	Determined Sulfur Forms	Advantages	Limitations
UV fluorescence analysis	Total sulfur	High sensitivity	Requires sample combustion
X-ray fluorescence analysis	Total sulfur	No sample preparation required	Matrix effects
Ion chromatography	Sulfates and oxidation products	High selectivity	Complex sample preparation
Potentiometric titration	Active sulfur	Simplicity	Limited sensitivity
Electrochemical methods	Hydrogen sulfide, mercaptans	Rapid analysis	Electrode modification required

3.4. Technological Approaches to Reducing Sulfur Content in Petroleum Feedstocks

The principal industrial method for removing sulfur-containing compounds remains catalytic hydrodesulfurization, which is based on the interaction of organosulfur compounds with hydrogen in the presence of heterogeneous catalysts. The process is carried out at elevated temperatures and pressures using molybdenum-based catalysts promoted with nickel or cobalt [24].

Despite its high industrial efficiency, conventional hydrodesulfurization is insufficiently effective for the removal of alkyl-substituted dibenzothiophenes [4,5].

Steric shielding of the sulfur atom decreases the accessibility of active molecular sites for catalytic interaction.

As alternative approaches, oxidative desulfurization methods are being extensively investigated. In these processes, sulfur-containing compounds are converted into more polar sulfoxides and sulfones, which can subsequently be removed by extraction or sorption techniques.

Considerable interest has also been directed toward sorption technologies employing zeolites, carbon-based materials, metal-organic frameworks, and nanostructured adsorbents. The main advantages of these methods include mild operating conditions and

environmental safety; however, their relatively limited sorption capacity still restricts large-scale industrial application.

Extraction methods are based on the use of polar solvents and ionic liquids for the selective removal of organosulfur compounds. These processes are characterized by comparatively simple process design, although subsequent regeneration of the extractants is required.

A separate research direction involves biodesulfurization, which is based on the ability of microorganisms to cleave carbon–sulfur bonds in organic molecules [31]. Biocatalytic processes proceed under mild conditions and are characterized by reduced energy consumption; however, their practical application is limited by the relatively low rate of biochemical transformations.

Figure 2 illustrates the principal desulfurization methods currently employed in the petroleum industry.

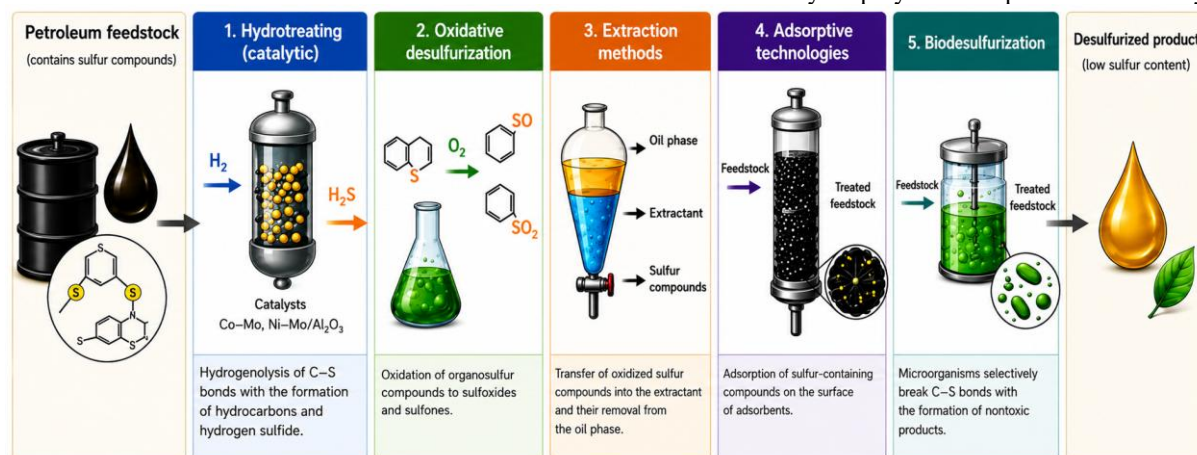


Figure 2. Modern Methods of Petroleum Desulfurization

To compare the principal advantages and limitations of current purification technologies, Table 3 presents a comparative characterization of the most widely used desulfurization methods.

Table 3.

Comparative Characteristics of Technologies for Sulfur Removal from Petroleum Feedstocks

Desulfurization Method	Main Advantages	Main Limitations
Catalytic hydrodesulfurization	High productivity and well-established industrial implementation	High energy consumption and incomplete removal of refractory thiophenes
Oxidative desulfurization	Enhanced selectivity toward aromatic sulfur compounds	Requirement for oxidizing agents and additional purification stages
Extraction methods	Simple process design and equipment configuration	Limited efficiency of sulfur compound extraction
Sorption technologies	Environmental safety and mild operating conditions	Relatively low sorption capacity of adsorbent materials
Biodesulfurization	Energy efficiency and selective cleavage of C–S bonds	Low rate of biochemical transformations

Conclusion

The present review demonstrates that sulfur control in petroleum and petroleum-derived fuels remains one of the central challenges of modern petroleum chemistry, analytical science, and refinery technology. Although significant progress has been achieved in reducing sulfur concentrations in transportation fuels, increasingly stringent environmental regulations and the growing complexity of petroleum feedstocks continue to drive the development of more selective analytical methodologies and more efficient desulfurization processes.

The analysis of recent literature indicates that the evolution of sulfur determination has progressed from conventional bulk analytical techniques toward molecularly selective, portable, and high-throughput analytical platforms. While standardized spectroscopic methods remain indispensable for regulatory compliance and routine refinery quality control, chromatographic

techniques have substantially advanced the understanding of sulfur speciation and reaction pathways. At the same time, rapid progress in electrochemical sensing, particularly through the application of nanostructured screen-printed electrodes, has created new opportunities for decentralized, cost-effective, and real-time sulfur monitoring in industrial and environmental applications.

The review further highlights that no individual desulfurization technology currently satisfies all technical, economic, and environmental requirements. Conventional hydrodesulfurization will undoubtedly remain the cornerstone of industrial sulfur removal because of its proven reliability and large-scale implementation. However, the limited reactivity of refractory aromatic sulfur compounds, together with increasing hydrogen consumption and energy demand, has accelerated the development of complementary

technologies, including oxidative, adsorptive, extractive, membrane-assisted, and biological desulfurization. Rather than competing with hydrodesulfurization, these approaches should be regarded as complementary components of integrated sulfur management strategies designed to achieve ultra-deep desulfurization with improved process sustainability.

A key conclusion emerging from this review is that future progress will depend not only on incremental improvements of existing analytical methods or catalytic systems, but also on the convergence of analytical chemistry, nanotechnology, catalysis, materials science, computational modeling, and digital process engineering. The design of multifunctional nanomaterials, integration of advanced analytical platforms with intelligent process monitoring, and application of data-driven optimization strategies are expected to substantially improve both sulfur determination and sulfur removal efficiency while reducing environmental and economic costs.

Finally, future research should increasingly emphasize validation under realistic industrial conditions, harmonization of analytical protocols, development of sustainable catalyst and sensor materials, and comprehensive evaluation of technological performance using environmental and techno-economic criteria. Such interdisciplinary and application-oriented approaches will facilitate the transition from laboratory-scale innovations to practical refinery technologies capable of meeting future demands for cleaner fuels, improved environmental protection, and sustainable petrole

References

1. Speight J.G. *The Chemistry and Technology of Petroleum*. Volume 1: Petroleum Occurrence, Recovery, and Properties. 6th ed. - Boca Raton: CRC Press, 2026. - 432 p. - DOI: 10.1201/9781003047421.
2. Shi Q., Wu J. Review on Sulfur Compounds in Petroleum and Its Products: State-of-the-Art and Perspectives // *Energy & Fuels*. - 2021. - Vol. 35, No. 18. - P. 14445-14461. - DOI: 10.1021/acs.energyfuels.1c02229.
3. Saleh T.A. Characterization, determination and elimination technologies for sulfur from petroleum: Toward cleaner fuel and a safe environment // *Trends in Environmental Analytical Chemistry*. - 2020. - Vol. 25. - Article e00080. - DOI: 10.1016/j.teac.2020.e00080.
4. Dembaremba T.O., Majodina S., Walmsley R.S., Ogunlaja A.S., Tshentu Z.R. Perspectives on Strategies for Improving Ultra-Deep Desulfurization of Liquid Fuels through Hydrotreatment: Catalyst Improvement and Feedstock Pre-Treatment // *Frontiers in Chemistry*. - 2022. - Vol. 10. - Article 807225. - DOI: 10.3389/fchem.2022.807225.
5. Hu Y., Li N., Wang M., Qiao Z., Gu D., Zhu L., Yuan D., Wang B. Overview of Research Status and Development Trends in Diesel Desulfurization Technology // *Catalysts*. - 2025. - Vol. 15, No. 3. - Article 251. - DOI: 10.3390/catal15030251.
6. Faria R.G., Silva D., Mirante F., Gago S., Cunha-Silva L., Balula S.S. Advanced Technologies Conciliating Desulfurization and Denitrogenation to Prepare Clean Fuels // *Catalysts*. - 2024. - Vol. 14, No. 2. - Article 137. - DOI: 10.3390/catal14020137.
7. Nehab M.J., Salimi F., Mohammadidoust A. Decreasing dibenzothiophene from liquid petroleum fuels through a novel graphitic catalyst: Achieving a sweet combustion into the environment // *Chemical Engineering Science*. - 2023. - Vol. 281. - Article 119131. - DOI: 10.1016/j.ces.2023.119131.
8. Worldwide Fuel Charter. *Global Fuel Quality Recommendations*. 2024 Edition. - Worldwide Fuel Charter Committee, 2024.
9. Medeiros K.A.R., da Costa L.G., Manca G.K.B., de Moraes Maciel R., Caliman E., da Silva M.T., de Sena R.C., de Oliveira E.C. Determination of total sulfur content in fuels: A comprehensive and metrological review focusing on compliance assessment // *Critical Reviews in Analytical Chemistry*. - 2024. - Vol. 54, No. 6. - P. 1283-1301. - DOI: 10.1080/10408347.2023.2249564.
10. Ravshanov M.I., Aronbaev D.M., Aronbaev S.D. Kriticheskiy obzor standartnykh metodov opredeleniya sery v nefteproduktakh i motornykh toplivakh // *Universum: khimiya i biologiya: elektron. nauchn. zhurn.* - 2024. - No. 9(123). - DOI: 10.32743/UniChem.2024.123.9.18161 [In Russ.].
11. Solovyeva V.A., Almuhammadi K.H., Badeghaish W.O. Current Downhole Corrosion Control Solutions and Trends in the Oil and Gas Industry: A Review // *Materials*. - 2023. - Vol. 16. - Article 1795. - DOI: 10.3390/ma16051795.
12. Revie R.W., Uhlig H.H. *Corrosion and Corrosion Control: An Introduction to Corrosion Science and Engineering*. 4th ed. - Hoboken: John Wiley & Sons, 2008. - DOI: 10.1002/9780470277270.
13. Manisalidis I., Stavropoulou E., Stavropoulos A., Bezirtzoglou E. Environmental and Health Impacts of Air Pollution: A Review // *Frontiers in Public Health*. - 2020. - Vol. 8. - Article 14. - DOI: 10.3389/fpubh.2020.00014.
14. ASTM D2622-24A. Standard Test Method for Sulfur in Petroleum Products by Wavelength Dispersive X-ray Fluorescence Spectrometry. - West Conshohocken, PA: ASTM International, 2024.
15. ASTM D5453-24. Standard Test Method for Determination of Total Sulfur in Light Hydrocarbons, Spark Ignition Engine Fuel, Diesel Engine Fuel, and Engine Oil by Ultraviolet Fluorescence. - West Conshohocken: ASTM International, 2024. - DOI: 10.1520/D5453-00.
16. Revenko A.G., Rashkova G. Rentgenofluorestsennaya spektrometriya: sovremennoe sostoyanie i perspektivy razvitiya // *Zhurnal analiticheskoy khimii*. - 2023. - Vol. 78, No. 11. - P. 980-1001. - DOI: 10.31857/S0044450223110130 [In Russ.].
17. Kapsali V., Triantafyllidis K., Deliyanni E., Samanidou V. Monitoring of Remaining Thiophenic Compounds in Liquid Fuel Desulphurization Studies Using a Fast HPLC-UV Method // *ChemEngineering*. - 2021. - Vol. 8, No. 4. - Article 48. - DOI: 10.3390/chemengineering8040048.
18. Silva R.M., da Silva A.D., Camargo J.R., de Castro B.S., Meireles L.M., Silva P.S., Janegitz B.C., Silva T.A. Carbon Nanomaterials-Based Screen-

Printed Electrodes for Sensing Applications // Biosensors. - 2023. - Vol. 13. - Article 453. - DOI: 10.3390/bios13040453.

19. Crapnell R.D., Banks C.E. Electroanalytical Overview: Screen-Printed Electrochemical Sensing Platforms // ChemElectroChem. - 2024. - Vol. 11. - Article e202400370. - DOI: 10.1002/celec.202400370.

20. Aronbaev D.M., Ravshanov M.I., Aronbaev S.D. Opredelenie serosoderzhashchikh veshchestv v motornykh toplivakh vol'tamperometricheskimi metodami s kvadratno-volnovoy razvertkoy potentsiala s primeneniem modifitsirovannykh rtutnoy plenki na ekranirovannyykh elektrodakh // Sciences of Europe. - 2024. - No. 152. - P. 22-26. - DOI: 10.5281/zenodo.14063720 [In Russ.].

21. Ahmadian M., Anbia M. Oxidative Desulfurization of Liquid Fuels Using Polyoxometalate-Based Catalysts: A Review // Energy & Fuels. - 2021. - Vol. 35, No. 13. - P. 10347-10373. - DOI: 10.1021/acs.energyfuels.1c00862.

22. Boshagh F., Rahmani M., Rostami K., Yousefifar M. Key Factors Affecting the Development of Oxidative Desulfurization of Liquid Fuels: A Critical Review // Energy & Fuels. - 2022. - Vol. 36, No. 1. - P. 98-132. - DOI: 10.1021/acs.energyfuels.1c03396.

23. Qiu X., Wang B., Wang R., Kozhevnikov I.V. New Adsorption Materials for Deep Desulfurization of Fuel Oil // Materials. - 2024. - Vol. 17, No. 8. - Article 1803. - DOI: 10.3390/ma17081803.

24. Roy T., Alakari J., Lancelot C., Blanchard P., Poinel L., Lamonier C. Deactivation and regeneration studies of molybdenum-based catalysts in the oxidative desulfurization of marine fuel oil // Catalysts. - 2024. - Vol. 14, No. 11. - Article 823. - DOI: 10.3390/catal14110823.

25. Mohammed M., Ali A.M., Albayati T.M. Choline chloride-based deep eutectic solvents for ultrasonic-assisted oxidative desulfurization of actual heavy crude oil // Chemical Engineering Research and Design. - 2022. - Vol. 182. - P. 659-666. - DOI: 10.1016/j.cherd.2022.03.047.

26. Song C. An overview of new approaches to deep desulfurization for ultra-clean gasoline, diesel fuel and jet fuel // Catalysis Today. - 2003. - Vol. 86, No. 1-4. - P. 211-263. - DOI: 10.1016/S0920-5861(03)00412-7.

27. Babich I.V., Moulijn J.A. Science and technology of novel processes for deep desulfurization of oil refinery streams: A review // Fuel. - 2003. - Vol. 82, No. 6. - P. 607-631. - DOI: 10.1016/S0016-2361(02)00324-1.

28. Muyzer G., Stams A.J.M. The ecology and biotechnology of sulphate-reducing bacteria // Nature Reviews Microbiology. - 2008. - Vol. 6, No. 6. - P. 441-454. - DOI: 10.1038/nrmicro1892.

29. Wang Y., Yu L., Chen Y., Li J. Research progress of deep eutectic solvents in fuel desulfurization // Green Processing and Synthesis. - 2025. - Vol. 14. - Article 20250069. - DOI: 10.1515/gps-2025-0069.

30. LaCount M.D., Haeuber R.A., Macy T.R., Murray B.A. Reducing Power Sector Emissions under the 1990 Clean Air Act Amendments: A Retrospective on 30 Years of Program Development and Implementation // Atmospheric Environment. - 2021. - Vol. 245. - Article 118012. - DOI: 10.1016/j.atmosenv.2020.118012.

31. Martínez I., Mohamed M.E.-S., Rozas D., García J.L., Díaz E. Engineering synthetic bacterial biodesulfurization pathways for oil biorefining // Metabolic Engineering. - 2022. - Vol. 73. - P. 279-293. - DOI: 10.1016/j.ymben.2022.07.004.

SYNTHESIS OF ADAMANTYL DERIVATIVES OF ALDIZINE. DERIVATIVES CONTAINING AN ACYLHYDRAZONE FRAGMENT

Klimko Yu.,

PhD in Chemistry, Senior Lecturer

Department of Organic Chemistry and Technology of Organic Substances
National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

Koshchii I.

PhD in Chemistry, Associate Professor

Department of Organic Chemistry and Technology of Organic Substances
National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"DOI: [10.5281/zenodo.22077695](https://doi.org/10.5281/zenodo.22077695)**Abstract**

Marine natural compounds are of increasing interest in drug research and development due to their unique structures, diverse biological activities, and novel mechanisms of action. Using the antiviral alkaloid aldizine as a starting compound and exploiting hydrogen bonding effects common in drug discovery, novel derivatives containing an acylhydrazone moiety were designed and synthesized. The structures of these derivatives were systematically analyzed using ^1H NMR spectroscopy at various temperatures. Antiviral activity tests revealed that most derivatives were active against tobacco mosaic virus (TMV), with some compounds outperforming the commercial antiviral drug ribavirin. In particular, 3-methylphenyl- and 3-pyridyl-substituted acylhydrazones 5-6 and 5-12 exhibited activity comparable to ningnanmycin, one of the most effective commercial antiviral drugs.

Keywords: adamantyl derivatives of aldizine, acylhydrazone, 4-(1-adamantyl)benzaldehyde, ^1H and ^{13}C nuclear magnetic resonance spectra.

Introduction

In the global agricultural production system, plant viral diseases have become one of the major biological threats to crop health and food security [1]. According to statistics from the Food and Agriculture Organization of the United Nations, annual crop losses caused by viral plant diseases worldwide exceed US\$60 billion, which seriously impedes the sustainable development of the agricultural economy [2–5]. Compared to fungal and bacterial pathogens, plant viruses are characterized by rapid spread, few symptoms, and complex control strategies [6]. Currently, commercially available antiviral drugs for plants are limited in variety, have low effectiveness in the field, and have weak therapeutic effect. Thus, there is an urgent need to develop new and highly effective antiviral drugs for plants [7–10].

Natural products have gradually become a vital resource for the development of new pesticides due to their structural diversity, ecocompatibility, and unique mechanisms of action [11–13]. Derived from plants, animals, and microorganisms, natural products such as alkaloids, terpenoids, and polypeptides exhibit significant biological activity, inhibiting pest growth and development, interfering with pathogen metabolism, and much more. Furthermore, these substances possess characteristics such as low toxicity and easy degradability, which aligns well with the growing demand for environmentally friendly pest control technologies in modern agriculture [14, 15].

The vast marine ecosystem contains many natural compounds that serve as potential model molecules for the development of new drugs [16,17]. Over the past decade, with more than 1,000 new structures being discovered each year, this period has marked a golden era

of exploration of marine natural compounds, culminating in the creation of a highly valuable and extremely extensive chemical database. Among them are compounds with a unique structure and exceptional biological activity [18]. Many marine natural compounds exhibit antiviral activity against plants, with aldizine alkaloids, in particular, demonstrating relatively strong antiviral activity [19].

Hydrazone compounds are a class of compounds with a broad spectrum of biological activity. As the basic structure of hydrazone compounds, the ($-\text{CONHN}=\text{CH}-$) fragment is often incorporated into the backbones of drug molecules, serving as an active group [20–22]. Due to its multiple hydrogen bond formation sites, it can enhance hydrogen bonds between small molecules and target proteins, thereby improving the biological activity of the compounds [23]. Furthermore, the introduction of a hydrazone structure into the carboline ring significantly enhances the anti-TMV (tobacco mosaic virus) activity of the corresponding derivatives [24,25].

To enhance hydrogen bond-mediated interactions between the target molecule and protein, a new series of derivatives incorporating an acylhydrazone pharmacophore was designed and synthesized.

The physiological activity of framework hydrocarbon derivatives, primarily adamantane derivatives, has been extensively studied. The activity of these compounds is due to the pronounced lipophilic nature of the compact framework hydrocarbon fragment. Therefore, the aim of this study was to attempt to impart greater lipophilicity to known anti-priposomal drugs, which, in our opinion, could improve their pharmacological activity.

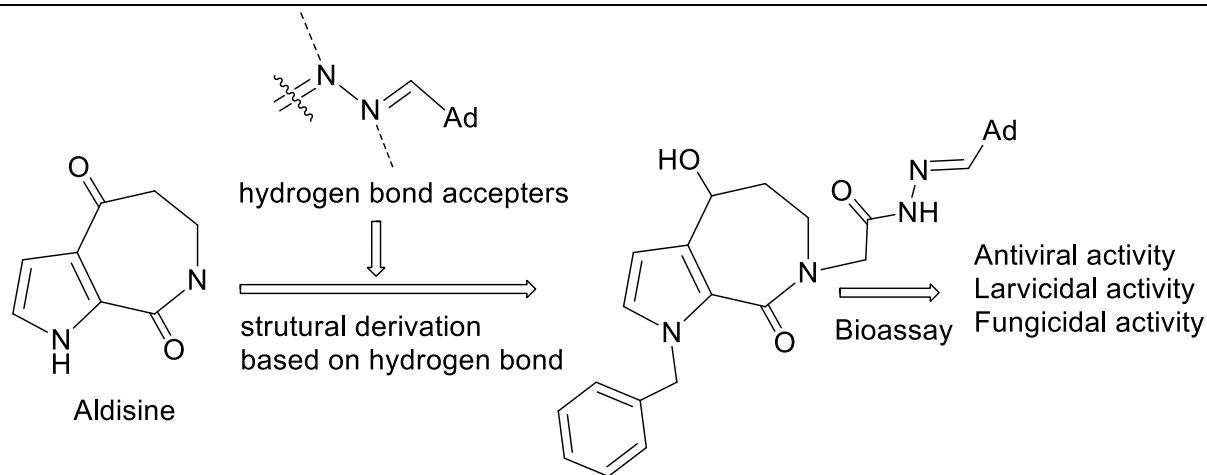
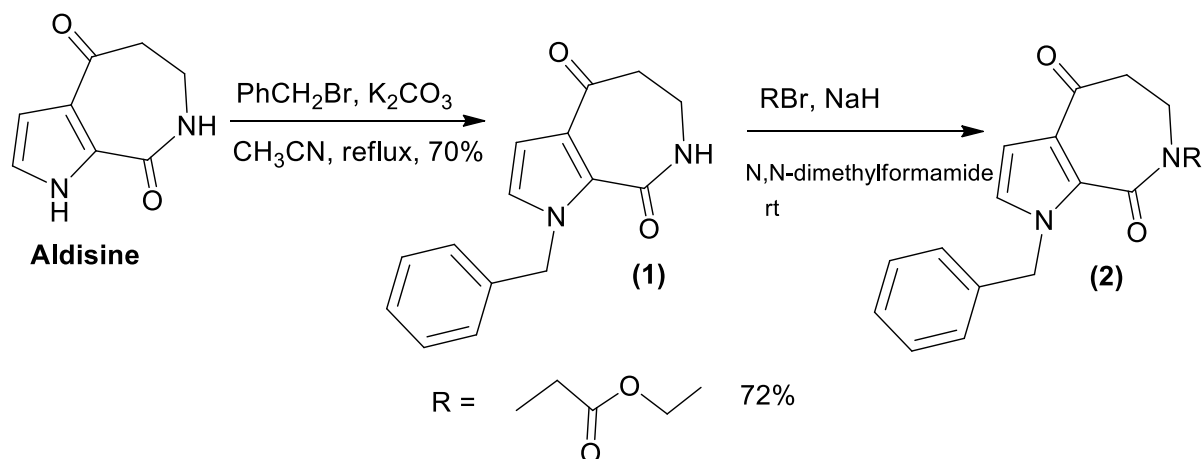


Figure 1. Design of the target compounds.

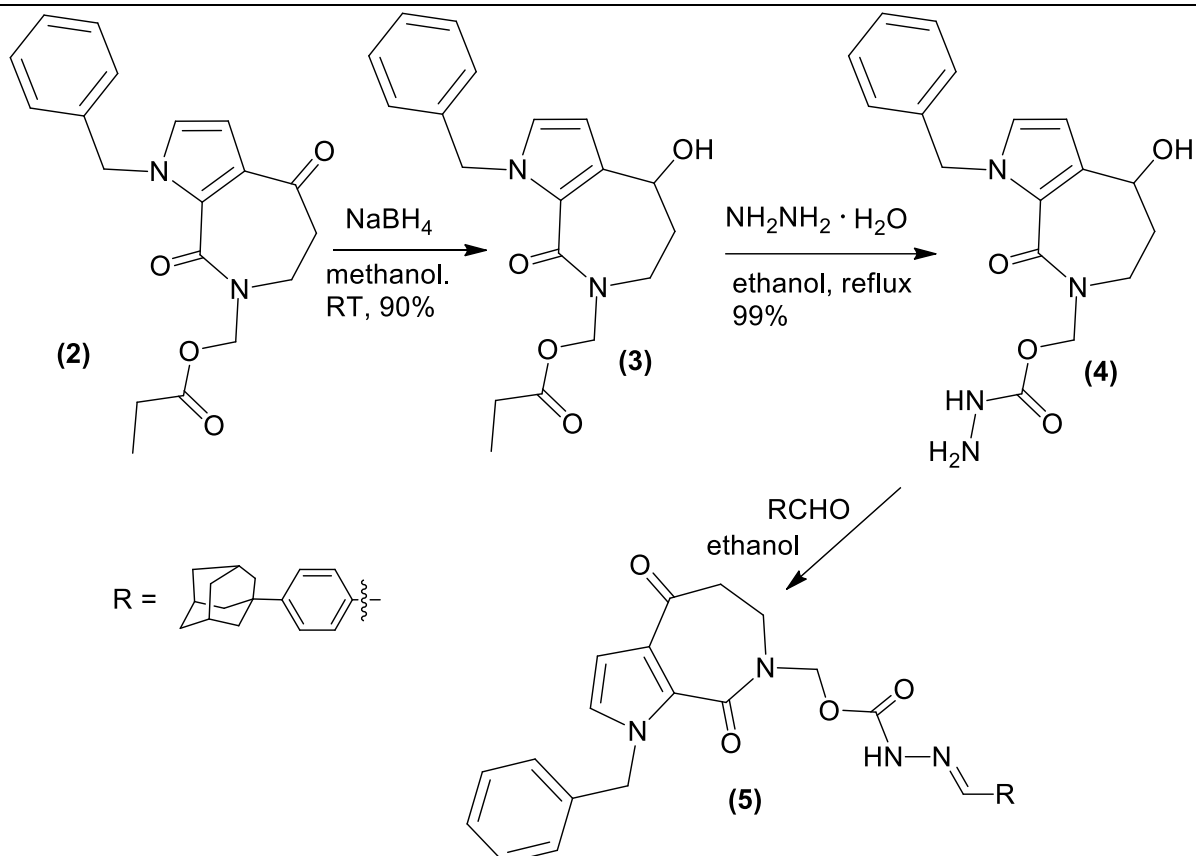
Results and Discussion

Under alkaline conditions, aldizine underwent a regioselective nucleophilic substitution reaction with benzyl bromide, forming derivative (1). Subsequently, using sodium hydride as a base, derivative (1) reacted with α -bromoethers in a nucleophilic substitution reaction to form an alkoxy carbonylmethyl-substituted derivative (2) (Scheme 1).



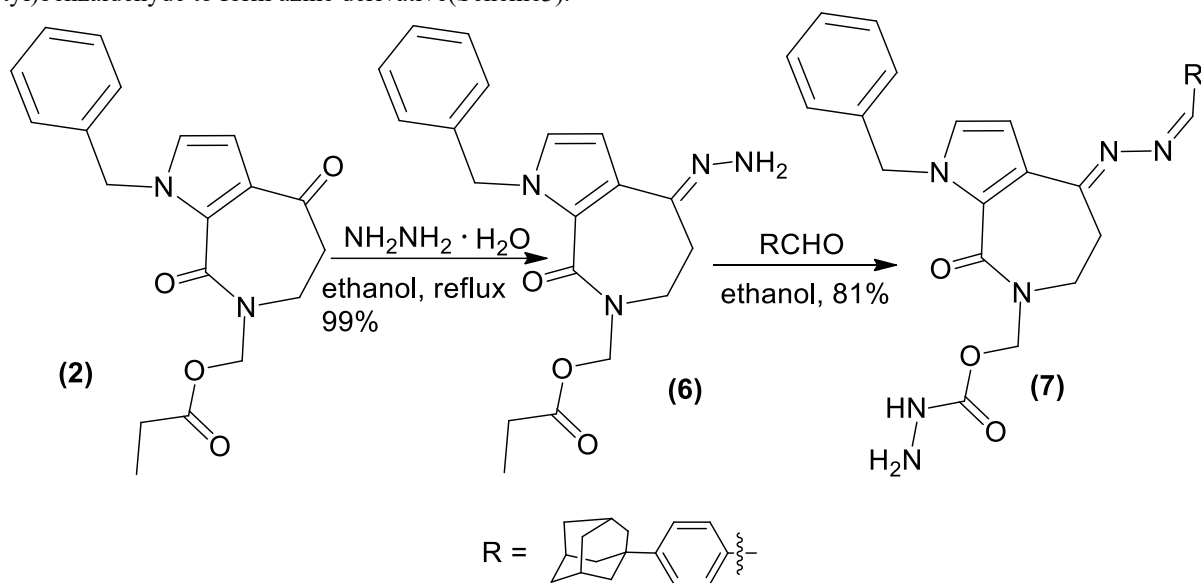
Scheme 1. Synthesis of aldizine derivatives 1 and 2

Starting from the aldizine derivative (2), the alcohol derivative (3) was obtained by reduction with sodium borohydride. The ether group in alcohol (3) was amidated with hydrazine to form the acylhydrazide derivative (4). Derivative (4) then underwent a condensation reaction with an aromatic adamantyl-containing aldehyde to form the hydrazone derivatives from (5) (Scheme 2).



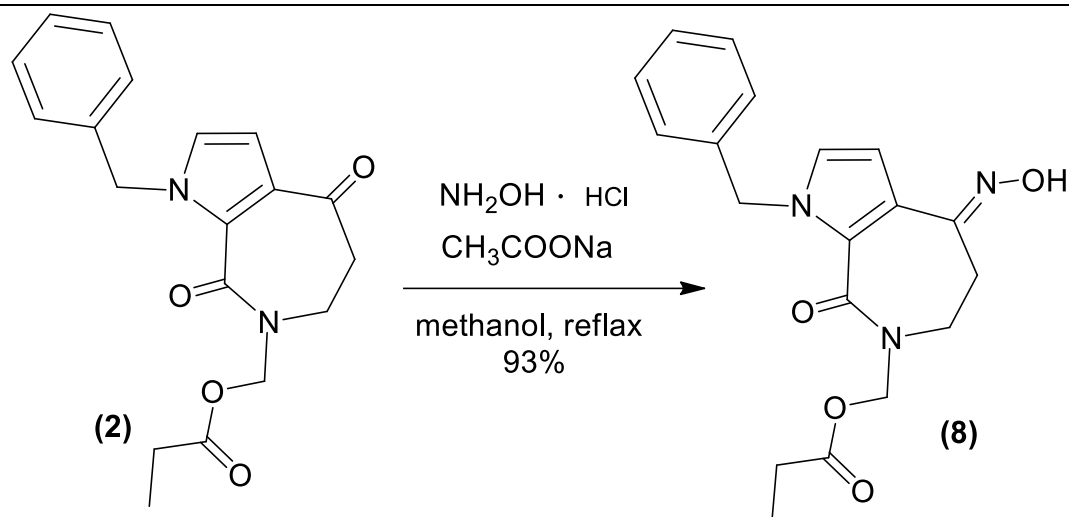
Scheme 2. Synthesis of aldisine derivative from (5).

Hydrazone derivative (6) was synthesized by condensation of derivative (2) with hydrazine hydrate under heating and reflux conditions. This hydrazone subsequently underwent a condensation reaction with 4-(1-adamantyl)benzaldehyde to form azine derivative (7) (Scheme 3).



Scheme 3. Synthesis of aldisine derivatives from (6) to (7).

Oxime (8) was synthesized by condensation reaction of derivative (2) with hydroxylamine hydrochloride under heating and reflux conditions (Scheme 4).



Scheme 4. Synthesis of aldisine derivative (5).

During the synthesis, it was discovered that when compound (2) was used as the starting compound for the reaction with hydrazine hydrate, the expected hydrazine ester product was not obtained, resulting in the formation of the hydrazone product (5). This experimental finding suggests that the reactivity of the ketone carbonyl group is significantly higher than that of the ester carbonyl group, leading to its preferential reaction with hydrazine hydrate.

To further verify the above conclusion, the carbonyl group in compound (2) was reduced to obtain compound (3), and then compound (3) was subjected to a hydrazine formation reaction, which successfully quantified the hydrazine ester product (4).

Experimental results further confirm that the reactivity of the ketone carbonyl group is higher than that of the ester carbonyl group. That is, after reduction of the ketone carbonyl group, the ester carbonyl group could readily undergo the reaction to form hydrazide with hydrazine hydrate.

Materials and Methods

Instruments

^1H and ^{13}C nuclear magnetic resonance spectra were recorded using a Bruker Avance 400 Ultrashield NMR spectrometer. Chemical shifts (δ) are reported in parts per million (ppm) and are measured relative to tetramethylsilane. High-resolution mass spectrometry (HRMS) data were obtained on an FTICR-MS instrument equipped with a q-TOF mass analyzer (Ionspec 7.0 T). Melting points were determined using an X-4 microscopic melting point apparatus and are uncorrected.

The degree of conversion was monitored by thin-layer chromatography (TLC). Flash column chromatography was performed on silica gel (200–300 mesh).

General Synthesis

Aldisine and other reagents were purchased from commercial suppliers and used without further purification. All anhydrous solvents were dried and purified according to standard methods immediately before use. The synthetic routes to the target compounds (3–8) are shown in Schemes 1–4.

Conclusions

New adamantyl derivatives of aldisin containing acylhydrazone moieties were successfully synthesized and characterized. Systematic evaluation of biological activity revealed that all compounds exhibit significant inhibitory activity against tobacco mosaic virus (TMV).

The derivatives can also exhibit significant insecticidal activity, as well as broad-spectrum fungicidal activity against phytopathogenic fungi.

References

1. Hema, M.; Sreenivasulu, P.; Patil, B.L.; Kumar, P.L.; Reddy, D.V. Tropical food legumes: Virus diseases of economic importance and their control. *Adv. Virus Res.* 2014, 90, 431–505.
2. Li, Z.X.; Hu, J.H.; Luo, R.S.; Zhang, T.H.; Ding, Y.; Zhou, X.; Liu, L.W.; Wu, Z.B.; Yang, S. Identification of natural Rutaecarpine as a potent tobacco mosaic virus (TMV) helicase candidate for managing intractable plant viral diseases. *Pest. Manag. Sci.* 2024, 80, 805–819. [CrossRef] [PubMed]
3. Shao, W.B.; Liao, Y.M.; Luo, R.S.; Ji, J.; Xiao, W.L.; Zhou, X.; Liu, L.W.; Yang, S. Discovery of novel phenothiazine derivatives as new agrochemical alternatives for treating plant viral diseases. *Pest. Manag. Sci.* 2023, 79, 4231–4243. [CrossRef]
4. Zhao, L.; Feng, C.C.; Wu, K.; Chen, W.B.; Chen, Y.J.; Hao, X.A.; Wu, Y.F. Advances and prospects in biogenic substances against plant virus: A review. *Pestic. Biochem. Physiol.* 2015, 135, 15–26. [CrossRef] [PubMed]
5. Jin, J.M.; Shen, T.W.; Shu, L.Z.; Huang, Y.X.; Deng, Y.L.; Li, B.P.; Jin, Z.C.; Li, X.Y.; Wu, J. Recent achievements in antiviral agent development for plant protection. *J. Agric. Food Chem.* 2023, 71, 1291–1309. [CrossRef]
6. Scholthof, K.-B.G.; Adkins, S.; Czosnek, H.; Palukaitis, P.; Jacquot, E.; Hohn, T.; Hohn, B.; Saunders, K.; Candresse, T.; Ahlquist, P.; et al. Top 10 plant viruses in molecular plant pathology. *Mol. Plant Pathol.* 2011, 12, 938–954. [CrossRef] [PubMed]

7. Chen, J.X.; Luo, X.; Chen, Y.F.; Wang, Y.; Peng, J.; Xing, Z.F. Recent research progress: Discovery of anti-plant virus agents based on natural scaffold. *Front. Chem.* 2022, 10, 926202. [CrossRef]
8. Yin, L.M.; Li, X.Y.; Zhao, C.N.; Song, R.J.; Song, B.A. CGMMV capsid protein hijacks host proviral factors to generate condensates and remodel photosynthesis: Strategic antiviral protocol. *Sci. Bull.* 2025. [CrossRef]
9. Wei, C.L.; Zhao, C.N.; Li, J.; Li, C.Y.; Song, B.A.; Song, R.J. Innovative arylimidazole-fused phytovirucides via carbene-catalyzed [3+4] cycloaddition: Locking viral cell-to-cell movement by out-competing virus capsid-host interactions. *Adv. Sci.* 2024, 11, 2309343. [CrossRef]
10. Zan, N.N.; Li, J.; Yao, J.H.; Wu, S.; Li, J.Z.; Chen, F.F.; Song, B.A.; Song, R.J. Rational design of phytovirucide inhibiting nucleocapsid protein aggregation in tomato spotted wilt virus. *Nat. Commun.* 2025, 16, 2034. [CrossRef]
11. Cantrell, C.L.; Dayan, F.E.; Duke, S.O. Natural products as sources for new pesticides. *J. Nat. Prod.* 2012, 75, 1231–1242. [CrossRef]
12. Marrone, P.G. Pesticidal natural products—status and future potential. *Pest. Manag. Sci.* 2019, 75, 2325–2340. [CrossRef]
13. Lorschbach, B.A.; Sparks, T.C.; Cicchillo, R.M.; Garizi, N.V.; Hahn, D.R.; Meyer, K.G. Natural products: A strategic lead generation approach in crop protection discovery. *Pest. Manag. Sci.* 2019, 75, 2301–2309. [CrossRef] [PubMed]
14. Zhi, X.Y.; Liu, Y.; Liang, J.; Yuan, X.; Shi, H.C.; Duan, J.Q.; He, M.T.; Wang, Y.; Cao, H.; Yang, C. Novel pesticide candidates inspired by natural neolignan: Preparation and insecticidal investigation of honokiol analogs containing 2-aminobenzoxazole—Fused core scaffold. *J. Agric. Food Chem.* 2024, 72, 20805–20815. [CrossRef]
15. Zhi, X.Y.; Hu, Q.; Duan, J.Q.; He, M.T.; Zheng, Z.Z.; Liang, J.; Yang, C. Assembly of thioether analogs from 2-mercaptobenzoxazolefused honokiol and heterocyclic scaffolds and evaluation of their agrochemical potential. *Pest. Manag. Sci.* 2025, 81, 3654–3664. [CrossRef] [PubMed]
16. Song, C.G.; Yang, J.; Zhang, M.Z.; Ding, G.; Jia, C.G.; Qin, J.C.; Guo, L.P. Marine natural products: The important resource of biological insecticide. *Chem. Biodiver.* 2021, 18, e2001020. [CrossRef] [PubMed]
17. Molinski, T.F.; Dalisay, D.S.; Lievens, S.L.; Saludes, J.P. Drug development from marine natural products. *Nat. Rev. Drug Discov.* 2009, 8, 69–85. [CrossRef]
18. Liu, M.Y.; Zhang, X.W.; Li, G.Q. Structural and biological insights into the hot-spot marinenatural products reported from 2012 to 2021. *Chin. J. Chem.* 2022, 40, 1867–1889. [CrossRef]
19. Song, H.J.; Liu, Y.X.; Wang, Q.M. Research progress of anti-plant virus agents based on marine natural products. *Adv. Agrochem* 2023, 2, 31–38. [CrossRef]
20. Wang, Y.; Guo, S.X.; Yu, L.J.; Zhang, W.; Wang, Z.C.; Chi, Y.G.R.; Wu, J. Hydrazone derivatives in agrochemical discovery and development. *Chin. Chem. Lett.* 2024, 35, 108207. [CrossRef]
21. Popielek, L. Hydrazide–hydrazones as potential antimicrobial agents: Overview of the literature since 2010. *Med. Chem. Res.* 2017, 26, 287–301. [CrossRef]
22. Gao, L.L.; Pang, S.L.; Gao, Y.; Shi, D.L.; Guo, Y. Recent development of organic small-molecule and nanomaterial fluorescent probes for hydrazine. *Adv. Agrochem* 2022, 1, 22–38. [CrossRef]
23. Kenny, P.W. Hydrogen-bond donors in drug design. *J. Med. Chem.* 2022, 65, 14261–14275. [CrossRef]
24. Wang, H.Q.; Song, H.J. Synthesis of four optical isomers of antiviral agent NK0209 and determination of their configurations and activities against a plant virus. *J. Agric. Food Chem.* 2020, 68, 2631–2638. [CrossRef]
25. Liu, Y.X.; Song, H.J.; Huang, Y.Q.; Li, J.R.; Zhao, S.; Song, Y.C.; Yang, P.W.; Xiao, Z.X.; Liu, Y.X.; Li, Y.Q.; et al. Design, Synthesis, and antiviral, fungicidal, and insecticidal activities of tetrahydro- β -carboline-3-carbohydrazide derivatives. *J. Agric. Food Chem.* 2014, 62, 9987–9999. [CrossRef] [PubMed]
26. Chen, L.W.; Xie, J.L.; Song, H.J.; Liu, Y.X.; Gu, Y.C.; Wang, L.Z.; Wang, Q.M. Design, synthesis, and biological activities of spirooxindoles containing acylhydrazone fragment derivatives based on the biosynthesis of alkaloids derived from tryptophan. *J. Agric. Food Chem.* 2016, 64, 6508–6516. [CrossRef] [PubMed]
27. Xu, W.T.; Yang, R.X.; Liu, L.X.; Zhang, J.J.; Liu, Y.X.; Li, Y.Q.; Wang, L.Z.; Song, H.J.; Wang, Q.M. Design, Synthesis, and Bioactivity of Aldisine Derivatives Containing Oxime and Hydrazine Moieties Based on Hydrogen Bonds. *J. Agric. Food Chem.* 2023, 71, 11016–11025. [CrossRef]
28. Wang, Z.W.; Wei, P.; Xu, X.Z.; Liu, Y.X.; Wang, L.Z.; Wang, Q.M. Design, synthesis, and antiviral activity evaluation of phenanthrenebased antofine derivatives. *J. Agric. Food Chem.* 2012, 60, 8544–8551. [CrossRef]
29. Liu, Y.X.; Zhang, P.X.; Li, Y.Q.; Song, H.B.; Wang, Q.M. Design, synthesis, and biological evaluation of 2-benzylpyrroles and 2-benzoylpyrroles based on structures of insecticidal chlorfenapyr and natural pyrrolomycins. *Mol. Divers.* 2014, 18, 593–598. [CrossRef] [PubMed]
30. Ma, Q.Q.; Liu, Y.X.; Zhang, P.X.; Li, Y.Q.; Xiong, L.X.; Wang, Q.M. Design, synthesis, and biological evaluation of various α -substituted benzylpyrroles based on the structures of insecticidal chlorfenapyr and natural pyrrolomycins. *J. Agric. Food Chem.* 2014, 62, 6072–6081. [CrossRef]

ECONOMIC SCIENCES

METHODOLOGY FOR DEVELOPING THE ECONOMIC ADAPTABILITY OF CONSTRUCTION ENTERPRISES UNDER MULTILEVEL UNCERTAINTY

Ratnikov D.,

PhD in Economics,

Doctoral Student, Department of Management in Construction,

Shyliuk P.,

PhD student, Department of Management in Construction,

Fesun A.,

PhD in Economics,

Doctoral Student, Department of Management in Construction,

Petrenko O.

PhD student, Department of Management in Construction

Kyiv National University of Construction and Architecture

DOI: [10.5281/zenodo.22077745](https://doi.org/10.5281/zenodo.22077745)

Abstract

The article develops a methodology for the economic adaptability of construction enterprises under multilevel uncertainty. Economic adaptability is defined as the capability to anticipate, absorb, respond to, recover from, and transform disruptions while preserving continuity, solvency, value, and portfolio feasibility. This study integrates systemic, scenario, risk-oriented, capability-based, and value-based approaches. It identifies key sources of uncertainty and their transmission chains. A vulnerability index and an adaptive management sequence are proposed, including uncertainty mapping, capability assessment, scenario modelling, decision portfolio formation, implementation, monitoring, and organizational learning. The methodology supports reconfiguration of resources, processes, projects, and business models, enabling enterprises to maintain economic viability in a changing environment.

Keywords: enterprise; resilience; economic diagnostics; investment and construction project; adaptive management; risk management; sustainable development; business model transformation; digitalization; competitiveness.

Problem statement. Construction enterprises operate in a complex and dynamic environment characterized by long investment and production cycles, the territorial dispersion of construction sites, high capital intensity, substantial dependence on external financing, an extensive system of contractual relations, the multi-actor nature of project implementation, and considerable inertia in operational processes. The combined effect of these industry-specific characteristics increases enterprises' sensitivity to macroeconomic, institutional and regulatory, market, financial, resource and logistics, technological, security-related, and organizational and behavioural disruptions. Such disruptions may undermine the synchronization of project implementation, the balance of cash flows, resource availability, and the overall economic viability of an enterprise.

Under these conditions, economic adaptability cannot be interpreted merely as an enterprise's ability to passively adjust to changes in the external environment. Its content should encompass the institutionalized capacity of an enterprise to identify changes in advance, interpret their economic consequences, develop alternative courses of action, reallocate resources, adjust project portfolio parameters, restructure operational processes, and renew its business model without losing manageability or economic viability.

Analysis of recent research and publications. The theoretical foundations of enterprise economic adaptability have been developed mainly within the concepts of dynamic capabilities and organizational resilience. D. Teece [11] links long-term performance to

the ability to identify change, seize opportunities, and reconfigure resources, although this approach insufficiently reflects the project-portfolio and financial constraints of construction enterprises. E. Hollnagel, D. Woods, and N. Leveson [5] interpret resilience as the capacity of complex systems to anticipate, monitor, respond, and learn. However, their concept focuses primarily on safety and operational reliability rather than on the economic outcomes of adaptation. S. Duchek [1] defines resilience as a meta-capability comprising anticipation, coping, and adaptation, but the model requires industry-specific operationalization. J. Hillmann and E. Guenther [3] emphasize the need to distinguish resilience from flexibility, adaptability, and crisis management and note the lack of established measurement approaches. For construction projects, K. Hilu and M. Hiyassat [4] identify preparation, absorption, recovery, and adaptation as key resilience components. However, their model is limited mainly to the project level. X. Ren, F. Yuan, Y. Li, and co-authors [10] demonstrate that financial reserves, organizational flexibility, and social capital strengthen construction enterprise resilience, while high external uncertainty reduces its positive effect on performance.

ISO 31000:2018 [6] provides a risk-oriented framework integrating risk identification, assessment, treatment, and monitoring into corporate management, but it does not fully address deep uncertainty. ISO 22301:2019 [7] regulates business continuity, preparedness, response, and recovery, although its provisions

require adaptation to the temporary, geographically dispersed, and multi-contractor nature of construction activity. OECD guidelines [8] shift attention from isolated risks to systemic interdependencies and stakeholder coordination, while the Project Management Institute [9] distinguishes risk, ambiguity, complexity, and unpredictability and recommends predictive, adaptive, or hybrid project approaches. Nevertheless, both frameworks insufficiently formalize enterprise adaptability as an integrated economic system. UNDRR [12] defines infrastructure resilience as the ability to withstand, absorb, recover, adapt, and transform, extending adaptability to the ecosystem level. The World Bank report by S. Hallegatte, J. Rentschler, and J. Rozenberg [2] further shows that the economic effects of disruptions arise from both direct asset damage and failures of interconnected infrastructure systems.

The analysed studies [1–12] demonstrate a transition from isolated risk management to systemic and capability-based approaches. However, existing research usually focuses on general organizational resilience [1; 3; 5; 10; 11], individual projects [4], risk and continuity management [6; 7; 9], or infrastructure systems [2; 8; 12]. A comprehensive methodology integrating macro-economic, institutional, financial, resource, project-portfolio, operational, digital, and security uncertainty with quantitative assessment of construction enterprise adaptability remains insufficiently developed.

The purpose of the article is to develop an enterprise's capacity to maintain an economically viable trajectory of operation and development under different combinations of uncertainty through the timely identification of disruptions, the selection of adaptive actions, and the reconfiguration of resources, processes, and projects.

Presentation of the main research findings. The economic adaptability of a construction enterprise may be defined as its dynamic and integrated capacity to anticipate, absorb, compensate for, and transform the effects of multilevel disruptions through purposeful changes in its resource configuration, operational architecture, project portfolio structure, financial model, and system of inter-organizational interaction. These changes are aimed at maintaining business continuity, solvency, enterprise value, and long-term development potential. Under this interpretation, economic adaptability is broader than organizational flexibility and differs from economic resilience. Flexibility characterizes the available range within which individual operating

parameters may be adjusted without changing the enterprise's existing configuration. Economic resilience reflects the ability to maintain or restore core functions following a disruption of equilibrium. Adaptability involves not only returning to the previous state but also transitioning to a new and more economically appropriate configuration of activities.

The methodological foundation for this distinction is the dynamic capabilities theory, according to which an enterprise should develop the ability to identify changes, seize emerging opportunities, and reconfigure its resources and organizational structures. To ensure resilient performance, this approach is complemented by the capabilities to anticipate, monitor, respond, and learn.

Economic adaptability is formed not in relation to uncertainty in general but in relation to a specific configuration of external and internal disruptions, the enterprise's critical functions, decision-making time horizons, and acceptable limits of performance deterioration. Therefore, the level of adaptability is not a permanent property of an enterprise. It varies depending on the scale of uncertainty, the speed at which it unfolds, the interdependence of risks, accumulated resource reserves, the quality of managerial decisions, and the enterprise's capacity for organizational learning. Multilevel uncertainty implies that disruptions arising at one level are transmitted to other levels. For example, an exchange-rate shock may increase the cost of imported materials, alter the project budget, create a working capital deficit, delay project completion, weaken solvency, and cause conflicts with counterparties. Therefore, the methodology should examine not isolated factors but the transmission chains through which uncertainty propagates.

Multilevel uncertainty represents a set of interrelated changes in the external and internal environment for which the probability of occurrence, scale, time horizon, direction, and aggregate economic impact on the enterprise cannot be determined unambiguously (Table 1). Unlike risk, which allows a set of possible consequences and their probabilities to be identified, uncertainty may involve incomplete information, structural ambiguity, unknown cause-and-effect relationships, model errors, behavioural unpredictability, and events for which a reliable statistical distribution cannot be established. Therefore, traditional risk management should be incorporated into a broader methodology for managing adaptability but cannot substitute for it.

Table 1.

Levels of multilevel uncertainty in the operations of construction enterprises

Level of uncertainty	Key sources and manifestations	Main economic consequences
1. Macroeconomic	Inflation, exchange rates, interest rates, credit conditions, investment.	Construction costs, demand, payback periods, and asset values.
2. Institutional and regulatory	Regulations, permits, procurement rules, oversight, and legal changes.	Delays, additional costs, and loss of project feasibility.
3. Industry and market	Demand, competition, prices, sales, and rental rates.	Revenue, financing, and construction work in progress.
4. Financial and investment	Cash-flow gaps, lending conditions, debt, and capital shortages.	Liquidity, solvency, and project portfolio financing.
5. Resource and logistics	Prices, resource and labour shortages, lead times, and logistics.	Downtime, cost overruns, delays, and resource gaps.
6. Project and portfolio	Budgets, schedules, design changes, contracts, and resources.	Portfolio imbalance, resource conflicts, and schedule overruns.
7. Operational and technological	Productivity, disruptions, defects, rework, and downtime.	Higher costs and duration, and lower quality of work.
8. Digital and information	Data quality, system incompatibility, cyber risks, and model risk.	Planning errors, delayed decisions, and weak coordination.
9. Organisational and behavioural	Conflicts, communication gaps, competence deficits, and resistance to change.	Slow decisions, transaction losses, and loss of managerial control.
10. Security, environmental and force majeure	War, damage, disruptions, accidents, and extreme events.	Work stoppages, asset losses, and threats to personnel.

Source: compiled by the authors based on [1-12]

Random, or aleatory, uncertainty is associated with the inherent variability of parameters, such as labour productivity, delivery times, prices, or work duration. Appropriate methods for its analysis include probability theory, statistical modelling, Monte Carlo simulation, probabilistic network scheduling, Value at Risk, and Conditional Value at Risk. Epistemic uncertainty arises from insufficient knowledge, incomplete data, or model uncertainty. It can be addressed through interval analysis, fuzzy logic, expert assessment, Bayesian updating, sensitivity analysis, and robustness testing under alternative assumptions. Structural uncertainty results from an incomplete understanding of the cause-and-effect relationships among factors. Cognitive mapping, system dynamics, DEMATEL, Bayesian networks, causal graphs, and risk interdependence analysis may be applied to investigate this type of uncertainty.

Scenario uncertainty is associated with the existence of several fundamentally different trajectories of environmental development. Its assessment requires scenario building, stress testing, morphological analysis, and scenario-adaptive budgeting. Deep uncertainty occurs when neither the probabilities nor the full range of future states can be reliably determined (fig. 1). In such cases, preference should be given to robust decisions, minimax regret, real options, phased investment, and decisions that can be revised when new information becomes available. Studies of construction project cost contingencies confirm the need to distinguish among different types of uncertainty, since applying a single standard contingency percentage does not account for differences among aleatory, informational, and structural uncertainty.

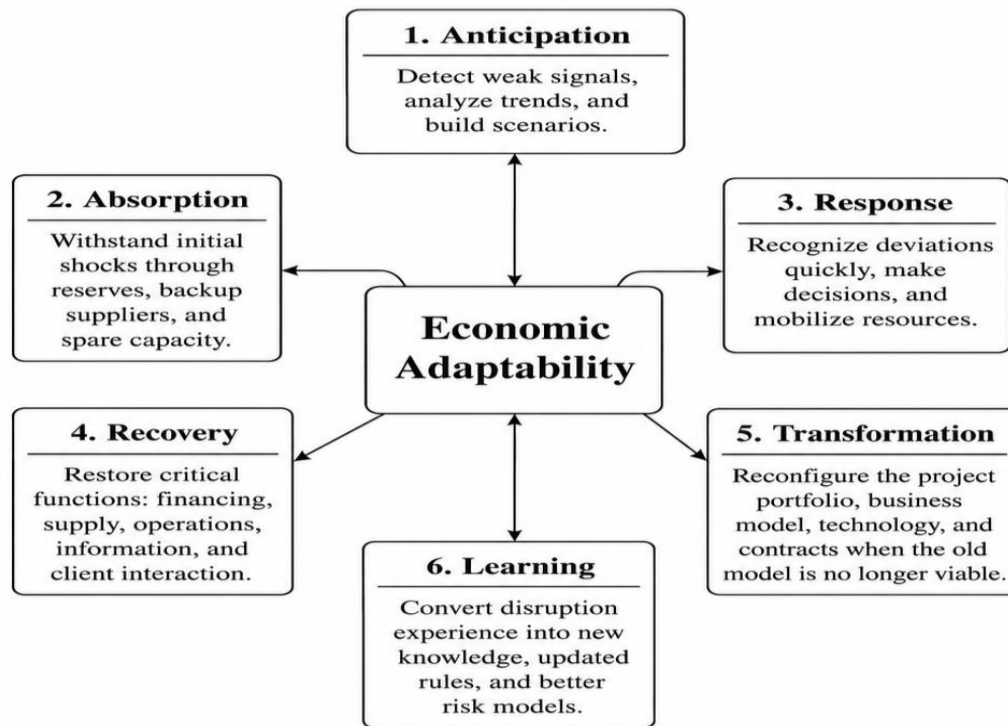


Fig. 1. Functional structure of the economic adaptability of construction enterprises

For each source of uncertainty, the level of occurrence, time horizon, speed of development, potential scale, controllability, possible indicators, and channels of impact transmission should be identified.

It is advisable to develop the following map: source of uncertainty → primary impact → transmission channel → critical function → economic consequence → possible adaptive response.

Exposure reflects the extent to which an enterprise is affected by a source of uncertainty. Sensitivity characterizes the magnitude of the change in outcomes resulting from a change in a particular factor. Vulnerability indicates the likelihood of a critical deterioration in the enterprise's condition due to insufficient protective or adaptive capabilities.

The vulnerability index may be calculated as follows:

$$I_{v,t} = \sum_{r=1}^m \gamma_r E_{r,t} S_{r,t} D_{r,t}$$

where $E_{r,t}$ denotes exposure to the r -th disruption; $S_{r,t}$ is sensitivity; $D_{r,t}$ represents the deficit of protective or adaptive capabilities; and γ_r is the weight assigned to the r -th disruption.

The methodology integrates diagnostic, forecasting, scenario-based, optimization, organizational, and value-oriented dimensions. Uncertainty is regarded not only as a source of potential losses but also as a factor that creates a need for managerial flexibility, real options, new technological solutions, and business model transformation. Within this framework, economic adaptability is characterized by three interrelated properties: the adequacy of adaptive capabilities relative to the scale of uncertainty; the balance among financial, resource, operational, digital, and organizational components; the speed at which information about changes

is converted into economically justified managerial actions.

Conclusions. The methodology for developing the economic adaptability of construction enterprises should focus not on forecasting a single future state but on building the enterprise's capacity to operate under multiple possible environmental conditions. Its foundation is the continuous alignment of multilevel uncertainty, enterprise vulnerability, and available adaptive capabilities.

Adaptability is developed through the successive determination of the economic viability domain, uncertainty mapping, vulnerability assessment, capability auditing, scenario modelling, the formation of a portfolio of adaptive decisions, their economic selection, implementation, monitoring, and organizational learning. The outcome of applying the methodology is not the mechanical preservation of the enterprise's initial state but the maintenance of its capacity to create value, fulfil critical obligations, preserve the economic feasibility of its project portfolio, and undertake timely structural transformation in a changing and only partially predictable environment.

References

1. Duchek, S. (2020). Organizational resilience: A capability-based conceptualization. *Business Research*, 13(1), 215–246. DOI: 10.1007/s40685-019-0085-7.
2. Hallegatte, S., Rentschler, J., & Rozenberg, J. (2019). Lifelines: The resilient infrastructure opportunity. World Bank. 224 c. DOI: 10.1596/978-1-4648-1430-3.
3. Hillmann, J., & Guenther, E. (2021). Organizational resilience: A valuable construct for management research? *International Journal of Management Reviews*, 23(1), 7–44. DOI: 10.1111/ijmr.12239.

4. Hilu, K. A., & Hiyassat, M. A. (2024). Qualitative assessment of resilience in construction projects. *Construction Innovation*, 24(5), 1297–1319. DOI: 10.1108/CI-10-2022-0265.
5. Hollnagel, E., Woods, D. D., & Leveson, N. (Eds.). (2006). *Resilience engineering: Concepts and precepts*. Ashgate. 416 p.
6. International Organization for Standardization. (2018). *Risk management—Guidelines* (ISO Standard No. 31000:2018). 16 p.
7. International Organization for Standardization. (2019). *Security and resilience—Business continuity management systems—Requirements* (ISO Standard No. 22301:2019). 21 p.
8. Organisation for Economic Co-operation and Development. (2014). *Guidelines for resilience systems analysis: How to analyse risk and build a roadmap to resilience*. OECD Publishing. 47 c. DOI: 10.1787/b0017c2c-en.
9. Project Management Institute. (2021). *A guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide) and the standard for project management* (7th ed.). 368 p.
10. Ren, X., Yuan, F., Li, Y., Lin, F., & Xie, J. (2026). Enhancing organizational resilience of construction enterprises in uncertain environments: A perspective based on dynamic capabilities. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 1–23. Advance online publication. DOI: 10.1108/ECAM-05-2025-0748.
11. Teece, D. J. (2007). Explicating dynamic capabilities: The nature and microfoundations of sustainable enterprise performance. *Strategic Management Journal*, 28(13), 1319–1350. DOI: 10.1002/smj.640.
12. United Nations Office for Disaster Risk Reduction. (2022). *Principles for resilient infrastructure*. 37 p.

MEDICAL SCIENCES

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ АНАЛЬГЕТИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ФРАКЦИИ, ПОЛУЧЕННОЙ ИЗ *PHLOMIS THAPSOIDES* L.

Азаматов А.А.

PhD, с.н.с. отдела Фармакологии и токсикологии Института химии растительных веществ Академии наук Республики Узбекистан

Рахимов Ж.Д.

магистрант Ташкентского фармацевтического института по направлению Экспериментальная и спортивная фармакология

Абдуллаев А.А.

магистрант Ташкентского фармацевтического института по направлению Экспериментальная и спортивная фармакология.

Эргашова М.Ж.

доктор биологических наук, профессор, заведующая лабораторией фармако-токсикологических исследований Государственное учреждение "Центр безопасности фармацевтической продукции"

Охундаев Б.С.

PhD, с.н.с. лаборатории Терпеноидов и фенольных соединений Института химии растительных веществ Академии наук Республики Узбекистан

Ботиров Р.А.

Доктор технических наук, главный специалист Академии наук Республики Узбекистан, Ташкент

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE ANALGESIC ACTIVITY OF A FRACTION ISOLATED FROM *PHLOMIS THAPSOIDES* L.

Azamatov A.,

PhD, senior researcher at the Department of pharmacology and toxicology of the Institute of chemistry of plant substances of the Academy of sciences of the Republic of Uzbekistan

Rakhimov J.,

Master's student in the field of Experimental and Sports Pharmacology at the Tashkent Pharmaceutical Institute.

Abdullayev A.,

Master's student in the field of Experimental and Sports Pharmacology at the Tashkent Pharmaceutical Institute.

Ergashova M.,

Doctor of Biological Sciences, Professor, Head of the Laboratory of Pharmacological and Toxicological Research. State Institution "Center for Pharmaceutical Product Safety"

Okhundedayev B.,

PhD, Senior Researcher Laboratory of Terpenoids and Phenolic Compounds of the Institute of Chemistry of Plant Substances of the Academy of sciences of the Republic of Uzbekistan

Botirov R.

Doctor of Technical Sciences, Chief Specialist of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan, Tashkent

DOI: [10.5281/zenodo.22077761](https://doi.org/10.5281/zenodo.22077761)

Аннотация

В данной научной статье изучены обезболивающие свойства фракции, полученной из *Phlomis thapsoides* L., в экспериментальных условиях. Анальгетическую активность оценивали с помощью теста «горячая пластина» на беспородных белых мышах. Исследуемую фракцию вводили перорально в различных дозах и наблюдали за её влиянием на латентный период болевой реакции. Результаты исследования показали, что эффективность фракции в снижении болевой чувствительности возрастала с увеличением дозы. Наивысший анальгетический эффект был зарегистрирован в дозе 25,0 мг/кг. Полученные данные свидетельствуют о том, что данная фракция имеет научное значение как перспективное анальгетическое средство на основе природного источника.

Abstract

In this scientific article, the analgesic properties of a fraction obtained from the *Phlomis thapsoides* L. were studied under experimental conditions. Analgesic activity was evaluated using the hot plate test on outbred white mice. The test fraction was administered orally at various doses, and its effect on the latent period of the pain reaction was observed. The results of the study showed that the effectiveness of the fraction in reducing pain sensitivity increased with increasing dose. The highest analgesic effect was recorded at the dose of 25.0 mg/kg.

The obtained data indicate that this fraction has scientific significance as a promising analgesic agent based on a natural source.

Ключевые слова: *Phlomis thapsoides* L., анальгетический эффект, модель термической боли, тест «горячая пластина», латентный период.

Keywords: *Phlomis thapsoides* L., analgesic effect, thermal pain model, hot plate test, latent period.

Введение. Болевой синдром является одной из важных проблем современной медицины и фармакологии, поскольку он служит основным клиническим признаком многих патологических состояний. Несмотря на высокую эффективность существующих анальгетических средств, применяемых для устранения боли, в частности нестероидных противовоспалительных препаратов и опиоидных анальгетиков, их длительное применение ограничивается многочисленными побочными эффектами, включая гастроэнтеропатии, нефротоксичность, гепатотоксичность и развитие толерантности [1-3]. Поэтому поиск новых высокоэффективных, малотоксичных и безопасных анальгетических средств остаётся актуальной научно-практической задачей.

В последние годы особое внимание уделяется созданию новых препаратов на основе биологически активных веществ, выделяемых из лекарственных растений. Природные соединения обладают многокомпонентным фармакологическим действием и важны тем, что воздействуют на различные звенья патогенеза боли и воспаления [4,5]. Особенно растения рода *Phlomis*, принадлежащие к семейству *Lamiaceae*, рассматриваются как перспективный фармакологический источник благодаря богатству флавоноидами, фенольными соединениями, терпеноидами и другими биоактивными компонентами [6].

Хотя химический состав и некоторые биологические свойства *Phlomis thapsoides* L. изучены, его анальгетическая активность, особенно эффективность на моделях центральной боли, исследована недостаточно. В связи с этим актуальность данного исследования определяется оценкой обезболивающей активности фракции, выделенной из этого растения, на модели «горячая пластина», определением диапазона эффективных доз и обоснованием её возможностей в качестве перспективного природного анальгетического средства [5-8].

Цель исследования: изучение анальгетической активности фракции, выделенной из *Phlomis thapsoides* L., на модели термической боли.

Материалы и методы. Исследования проведены на беспородных белых мышах-самцах массой тела 18-20 г. Животные в течение 7 дней были адаптированы в условиях вивария (23 ± 2 °C, 12/12 часовой режим свет/темнота) со свободным доступом к стандартному гранулированному корму и воде. Дозы исследуемых веществ и методы их введения были выбраны в соответствии с требованиями действующего методического руководства по доклиническим исследованиям [9]. Все эксперименты проведены с соблюдением норм биоэтики, в частности Европейской конвенции по защите позвоночных животных, используемых в экспериментальных и научных целях (Страсбург, 1986) и требований Директивы ЕС 2010/63/EU [10,11]. В каждую

экспериментальную группу методом рандомизации было распределено по 6 животных.

Исследуемую фракцию вводили перорально (интрагастрально) с помощью атравматического зонда в дозах 1,0; 5,0; 10,0; 25,0; 50,0; 100,0; 150,0; 200,0 мг/кг. До введения исследуемой фракции у всех животных регистрировали исходные (фоновые) показатели в тесте «горячая пластина», затем через 60 и 120 минут после введения вещества оценивали изменения латентного периода болевой реакции.

Для определения анальгетической активности использовали тест «горячая пластина» (Hot Plate). Данный метод является классической моделью скрининга, основанной на оценке болевых реакций, формирующихся с участием супраспинальных нервных структур. В ходе эксперимента животных помещали на поверхность металлической пластины, нагретой до 57 °C, и регистрировали латентное время от начала нагрева до появления поведенческих реакций на болевой стимул: облизывания лапы, прыжка или отдергивания лапы. Удлинение этого латентного периода оценивалось в качестве критерия снижения болевой чувствительности и наличия анальгетического действия исследуемого вещества [12,13].

Полученные результаты представлены в виде $M \pm m$. Межгрупповые различия оценивали с помощью t-критерия Стьюдента, а при множественных групповых сравнениях использовали однофакторный дисперсионный анализ (One-way ANOVA). Различия считали статистически достоверными при уровне $p < 0,05$ и $p < 0,01$. Анальгетическую активность рассчитывали в процентах в качестве удлинения латентного периода по сравнению с исходным показателем и анализировали в сравнении с результатами контрольной группы.

Результаты. Анальгетическая активность фракции, выделенной из *Phlomis thapsoides* L., была изучена на модели «горячая пластина» (hot plate) и оценена по показателям латентного периода болевой реакции. Полученные результаты представлены в виде $M \pm m$ ($n=6$) и проанализированы статистически в сравнении с контрольной группой.

Согласно результатам исследования, в контрольной группе (животные, получившие 0,2 мл физиологического раствора) латентный период болевой реакции в нормальном состоянии составил $14,2 \pm 0,6$ секунды, а через 60 минут этот показатель составил $13,9 \pm 0,5$ секунды, при этом статистически значимых изменений не наблюдалось ($p > 0,05$).

Референтный препарат кетопрофен проявил выраженную и дозозависимую активность по снижению болевой чувствительности. При дозе препарата 1,0 мг/кг латентный период болевой реакции удлинился до $22,3 \pm 0,8$ секунды, которое в процентном отношении составило увеличение на 62,7% по

сравнению с исходным показателем ($p<0,05$). Увеличение дозы препарата до 5,0 мг/кг привело к удлинению латентного периода до $24,5\pm 0,9$ секунды (73,7%; $p<0,01$), а при введении в дозе 10,0 мг/кг - до $25,8\pm 1,0$ секунды (80,4%; $p<0,01$). Эти данные свидетельствуют о сильном и выраженном дозозависимом анальгетическом действии кетопрофена.

В экспериментальных группах, получавших фракцию *Phlomis thapsoides* L., также наблюдалась анальгетическая эффективность. При введении исследуемого соединения в малых дозах, а именно 1,0 мг/кг и 5,0 мг/кг, латентный период болевой реакции удлинился соответственно до $19,4\pm 0,7$ секунды (40,5%; $p<0,05$) и $20,7\pm 0,8$ секунды (45,7%; $p<0,05$). Эти результаты показывают, что фракция даже в малых дозах обладает эффектом подавления болевых импульсов.

Анальгетическое действие исследуемой фракции усиливалось с увеличением дозы. При введении соединения в дозе 10,0 мг/кг латентный период составил $25,7\pm 0,9$ секунды, активность увеличилась на 83,5% ($p<0,01$). Данный результат показывает, что при этой дозе анальгетическая эффективность фракции практически сравнялась с референтным препаратом кетопрофеном.

Наивысшая анальгетическая эффективность фракции зарегистрирована при дозе 25,0 мг/кг. При этой дозе латентный период болевой реакции достиг $26,9\pm 1,0$ секунды, которое в процентном отношении составило увеличение на 94,9% по сравнению с исходным показателем ($p<0,01$). Этот результат свидетельствует не только о высоком анальгетическом потенциале фракции, но и о том, что оптимальная эффективная доза составляет 25,0 мг/кг. Кроме того, наблюдаемый эффект при этой дозе характеризуется превосходством над эффективностью референтного препарата кетопрофена в высокой дозе.

Исследуемая фракция сохраняла высокую анальгетическую активность при введении в дозе 50,0 мг/кг, латентный период болевой реакции составил $25,6\pm 0,9$ секунды (80,2%; $p<0,01$). При введении фракции в дозе 100,0 мг/кг латентный период составил $23,1\pm 0,8$ секунды (68,6%; $p<0,05$), при 150,0 мг/кг - $21,8\pm 0,7$ секунды (52,4%; $p<0,05$) и при 200,0 мг/кг - $20,6\pm 0,7$ секунды (46,0%; $p<0,05$). Полученные экспериментальные результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1

Анальгетическая активность фракции, полученной из *Phlomis thapsoides* L., в тесте термической боли, $M\pm m$, $n=6$

№	Условия опыта	Доза, мг/кг	Латентный период болевой реакции		
			Исходный показатель в нормальном состоянии (в секундах)	Повышение активности через 60 минут (в % к исходному уровню)	
				через 60 минут (в секундах)	Эффект (%)
1	Контроль (физ. раст.)	0.2 мл	14.2 ± 0.6	13.9 ± 0.5	-
2	Кетопрофен	1.0	13.7 ± 0.5	$22.3\pm 0.8^*$	62.7
		5.0	14.1 ± 0.6	$24.5\pm 0.9^{**}$	73.7
		10.0	14.3 ± 0.6	$25.8\pm 1.0^{**}$	80.4
3	Фракция, полученная из <i>Phlomis thapsoides</i> L.	1.0	13.8 ± 0.5	$19.4\pm 0.7^*$	40.5
		5.0	14.2 ± 0.6	$20.7\pm 0.8^*$	45.7
		10.0	14.0 ± 0.5	$25.7\pm 0.9^{**}$	83.5
		25.0	13.8 ± 0.5	$26.9\pm 1.0^{**}$	94.9
		50.0	14.2 ± 0.6	$25.6\pm 0.9^{**}$	80.2
		100.0	13.7 ± 0.5	$23.1\pm 0.8^*$	68.6
		150.0	14.3 ± 0.6	$21.8\pm 0.7^*$	52.4
		200.0	14.1 ± 0.6	$20.6\pm 0.7^*$	46.0

Примечание: результаты представлены в виде $M\pm m$ ($n=6$). $^*p<0,05$; $^{**}p<0,01$ по сравнению с контрольной группой.

Результаты проведенного эксперимента показали, что фракция *Phlomis thapsoides* L. обладает выраженной анальгетической активностью на модели термической боли, при этом её действие является дозозависимым, максимальная эффективность наблюдается при дозе 25,0 мг/кг, и данная доза может быть оценена как оптимальная терапевтическая доза. Результаты исследования обосновывают, что эта фракция может быть подвергнута дальнейшим углублённым фармакологическим и механистическим исследованиям для установления возможности его применения в качестве перспективного природного анальгетического средства.

Вывод. Результаты проведенных экспериментальных исследований показали, что фракция, выделенная из *Phlomis thapsoides* L., обладает выраженной анальгетической активностью на модели термической боли. Исследуемая фракция достоверно удлиняла латентный период болевой реакции и проявляла дозозависимое фармакологическое действие.

Согласно результатам исследования, среди всех введенных доз фракции 1,0; 5,0; 10,0; 25,0; 50,0; 100,0; 150,0; 200,0 мг/кг наивысшая анальгетическая активность наблюдалась при дозе 25,0

мг/кг, и эта доза была оценена как оптимальная эффективная доза. Наблюдаемый при этой дозе эффект был сопоставим с действием референтного препарата кетопрофена, а по некоторым показателям превосходил его.

Изученная фракция *Phlomis thapsoides* L. может быть исследована в качестве перспективного анальгетического средства на основе природного источника. Полученные результаты создают научную основу использования данной фракции в качестве объекта дальнейших углублённых фармакологических, токсикологических и механистических исследований.

Данные научные исследования выполнены в рамках бюджетного проекта Института.

References

1. Vane J.R., Botting R.M. Mechanism of action of nonsteroidal anti-inflammatory drugs//*Am. J. Med.* 1998. Vol.104, №3. P.2-8.
2. Katzung B.G. Basic and Clinical Pharmacology. 15th ed. New York: McGraw-Hill, 2021. 1264 p.
3. World Health Organization. WHO guidelines on the pharmacological treatment of persisting pain in adults [Elektron resurs]. Geneva: WHO, 2023. URL: <https://www.who.int>.
4. Calixto J.B., Beirith A., Ferreira J. et al. Naturally occurring antinociceptive substances from plants//*Phytother. Res.* 2000. Vol.14, №6. P.401-418.
5. Panche A.N., Diwan A.D., Chandra S.R. Flavonoids: an overview//*J. Nutr. Sci.* 2016. Vol.5. P.e47.
6. Amor I.L.B., Boubaker J., Sgaier M.B. et al. Phytochemistry and biological activities of *Phlomis* species//*Phytomedicine*. 2009. Vol.16, №1. P.83-87.
7. Kamel M.S., Mohamed K.M. Chemical constituents and biological activity of genus *Phlomis*//*Pharm. Biol.* 2011. Vol.49, №7. P.746-757.
8. Woolfe G., MacDonald A.D. The evaluation of analgesic action of pethidine hydrochloride//*J. Pharmacol. Exp. Ther.* 1944. Vol.80. P.300-307.
9. Хабриева Р.У. Руководство по экспериментальному (доклиническому) изучению новых фармакологических веществ. М. Медицина, 2005. 832 с.
10. European Convention for the Protection of Vertebrate Animals Used for Experimental and Other Scientific Purposes. Strasbourg: Council of Europe, 1986. - 53 p.
11. Directive 2010/63/EU of the European Parliament and of the Council of 22 September 2010 on the protection of animals used for scientific purposes//*Official Journal of the European Union*. - 2010. - L276. - P.33-79.
12. Миронов А.Н. Руководство по проведению доклинических исследований лекарственных средств. Часть 1. М: Гриф и К, 2012, с. 673.
13. Стефанова А.В. «Доклинические исследования лекарственных средств», Киев «Издательство Авиценна» 2002, Часть I, с. 579.

POLISH JOURNAL OF SCIENCE

№101 (2026)

VOL. 1

ISSN 3353-2389

Polish journal of science:

- has been founded by a council of scientists, with the aim of helping the knowledge and scientific achievements to contribute to the world.
- articles published in the journal are placed additionally within the journal in international indexes and libraries.
- is a free access to the electronic archive of the journal, as well as to published articles.
- before publication, the articles pass through a rigorous selection and peer review, in order to preserve the scientific foundation of information.

Editor in chief – Jan Kamiński, Kozminski University

Secretary – Mateusz Kowalczyk

Agata Żurawska – University of Warsaw, Poland

Jakub Walisiewicz – University of Lodz, Poland

Paula Bronisz – University of Wrocław, Poland

Barbara Lewczuk – Poznan University of Technology, Poland

Andrzej Janowiak – AGH University of Science and Technology, Poland

Frankie Imbriano – University of Milan, Italy

Taylor Jonson – Indiana University Bloomington, USA

Remi Tognetti – Ecole Normale Supérieure de Cachan, France

Bjørn Evertsen – Harstad University College, Norway

Nathalie Westerlund – Umea University, Sweden

Thea Huszti – Aalborg University, Denmark

Aubergine Cloez – Université de Montpellier, France

Eva Maria Bates – University of Navarra, Spain

Enda Baci – Vienna University of Technology, Austria

Also in the work of the editorial board are involved independent experts

1000 copies

POLISH JOURNAL OF SCIENCE

Wojciecha Górskiego 9, Warszawa, Poland, 00-033

email: editor@poljs.com

site: <http://www.poljs.com>