

СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К СИНТЕЗУ ГИДРАЗОНОВ ФЕРРОЦЕНА

¹Сулаймонова З.А., ²Амонов А.У.

¹Д.ф.х.н. (PhD), доцент

²Студент IV курса

Бухарский государственный университет

Аннотация: В статье приведён аналитический обзор современных методов синтеза гидразонных производных ферроцена — важного класса органометаллических соединений, сочетающих в своей структуре свойства как органических, так и неорганических систем. Рассмотрены традиционные и модифицированные способы получения ферроценгидразонов, основанные на реакциях конденсации гидразидов и гидразинов с карбонильными производными ферроцена (альдегидами и кетонами). Особое внимание уделено влиянию природы заместителей, растворителя, температуры и катализаторов на выход и чистоту продуктов. Проанализированы преимущества микроволновых и ультразвуковых методов синтеза, обеспечивающих сокращение времени реакции и повышение селективности. Обсуждены спектроскопические критерии подтверждения структуры получаемых соединений (ИК, УФ–Vis, ЯМР), а также их значение для дальнейшего применения в координационной химии, электрохимии и медицинской химии. Работа обобщает литературные данные последних лет и отражает современные тенденции в разработке эффективных и экологически безопасных методов синтеза гидразонов ферроцена.

Ключевые слова: ферроцен, гидразоны, шифовы основания, органометаллические соединения, методы синтеза, конденсация, ИК-спектроскопия, микроволновый синтез, координационная химия, каталитическая активность.

ВВЕДЕНИЕ

Органометаллическое соединение ферроцен ($\text{Fe}(\eta^5\text{-C}_5\text{H}_5)_2$) является уникальным объектом в современной химии благодаря своей стабильной структуре, выраженной электрохимической активности и возможности введения различных функциональных групп [1-7]. Ферроцен отличается высокой термической и химической устойчивостью, а также способностью к лёгкой функционализации, что позволяет создавать широкий спектр производных с заданными свойствами. Среди таких производных особое внимание привлекают гидразоны ферроцена – соединения, включающие гидразонный фрагмент ($\text{C}=\text{NNH}_2$) в структуре ферроценового ядра [8-12]. Гидразоны ферроцена обладают как классическими свойствами Schiff-оснований, так и уникальными органометаллическими характеристиками, что делает их перспективными для применения в координационной химии, синтезе функциональных материалов, каталитических системах и биомедицинских исследованиях [13-19].

Актуальность исследования обусловлена быстрым развитием области синтеза гидразонных производных ферроцена, появлением новых методик получения, включающих использование катализаторов, зелёных растворителей, микроволнового и ультразвукового воздействия, а также возможностью создания биологически активных соединений и функциональных материалов. Несмотря на наличие классических подходов, существует потребность в систематизации современных методов синтеза, оценке их эффективности, экологичности и селективности, а также в анализе влияния структурных факторов ферроценового ядра и гидразонного фрагмента на свойства получаемых соединений.

ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

Классические методы синтеза ферроцен-гидразонов основаны на конденсации гидразидов или гидразинов с карбонильными производными ферроцена (альдегидами и кетонами) в спиртовых растворах при нагревании. Современные подходы включают микроволновое и ультразвуковое воздействие, применение катализаторов, зелёные растворители, модификацию заместителей ферроценового кольца, а также создание гибридных функциональных материалов [20-23]. Спектроскопические методы (ИК, ЯМР, УФ-Vis) и электрохимические исследования позволяют подтверждать структуру гидразонов и оценивать их свойства. Актуальными остаются задачи оптимизации условий синтеза, повышения селективности E/Z-изомеров и экологической безопасности процессов [24-26].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Классические методы синтеза ферроцен-гидразонов основаны на прямой конденсации гидразидов или гидразинов с карбонильными соединениями ферроцена, включая альдегиды и кетоны, в спиртовых или органических растворителях при нагревании. Такие методы обеспечивают образование гидразонного фрагмента ($C=NNH_2$) и легко воспроизводимы, однако они требуют продолжительного времени реакции и иногда ограничены в селективности E/Z-изомеров [27-31].

Современные подходы к синтезу ферроцен-гидразонов включают микроволновое и ультразвуковое облучение, которое сокращает время реакции и повышает выход продуктов, а также использование катализаторов (например, соли редкоземельных металлов), что способствует увеличению чистоты соединений. Важное значение имеет модификация заместителей ферроценового кольца и гидразонного фрагмента для управления электронными свойствами, стабильностью и реакционной способностью. Применение зелёных растворителей и мягких условий реакции делает синтез более экологичным и промышленно перспективным [32-34].

Исследования последних лет также показали возможность интеграции ферроцен-гидразонов в гибридные материалы и биологически активные соединения. Спектроскопические методы, такие как ИК, ЯМР и УФ-Vis, наряду с электрохимическим анализом, позволяют подтверждать образование гидразонного фрагмента, стабильность ферроценового ядра и выявлять особенности таутомерного равновесия. Таким образом, современный подход к синтезу ферроцен-гидразонов не ограничивается только получением соединения, но и включает оценку его структуры,

свойств и потенциального применения в различных областях химии и материаловедения [35-37].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Современные методы синтеза ферроцен-гидразонов включают классические конденсации и инновационные подходы с микроволновой и ультразвуковой активацией.

2. Применение катализаторов и зелёных растворителей позволяет повысить выход и селективность продуктов.

3. Заместители ферроценового ядра и условия реакции влияют на структуру и стабильность гидразонов.

4. Спектроскопические и электрохимические методы подтверждают образование гидразонного фрагмента и устойчивость ферроценового ядра.

5. Систематизация современных подходов создаёт базу для дальнейших исследований гидразонов ферроцена в координационной химии и биомедицине.

ЛИТЕРАТУРА

1) Умаров, Б. Б., Сулаймонова, З. А., & Тиллаева, Д. М. (2020). Синтез лигандов на основе производных ферроцена с гидразидами моно-и дикарбоновых кислот. *Universum: химия и биология*, (3-2 (69)), 19-21.

2) Умаров, Б. Б., Сулаймонова, З. А., & Ачыллова, М. К. (2021). Синтез комплексов на основе монокарбонильных производных ферроцена с гидразидами карбоновых кислот. *Universum: химия и биология*, (1-1 (79)), 85-89.

3) Сулаймонова, З. (2022). СИНТЕЗ ЛИГАНДОВ НА ОСНОВЕ ПРОИЗВОДНЫХ ФЕРРОЦЕНА С ГИДРАЗИДАМИ МОНО-И ДИКАРБОНОВЫХ КИСЛОТ. *ЦЕНТР НАУЧНЫХ ПУБЛИКАЦИЙ (buxdu.uz)*, 16(16).

4) Сулаймонова, З. (2022). Термическое исследование производных ферроцена. *ЦЕНТР НАУЧНЫХ ПУБЛИКАЦИЙ (buxdu.uz)*, 16(16).

5) Сулаймонова, З. (2022). Термическое поведение мета-нитробензоилгидразона ферроценоилацетона и его комплекса с ионом меди (II). *ЦЕНТР НАУЧНЫХ ПУБЛИКАЦИЙ (buxdu.uz)*, 16 (16).

6) Сулаймонова, З. (2022). ТЕРМИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ БЕНЗОИЛГИДРАЗОН ФЕРРОЦЕНОИЛАЦЕТОНА И ЕГО КОМПЛЕКСНЫХ СОЕДИНЕНИЙ С ПЕРЕХОДНЫМИ МЕТАЛЛАМИ. *ЦЕНТР НАУЧНЫХ ПУБЛИКАЦИЙ (buxdu.uz)*, 16 (16).

7) Сулаймонова, З. (2022). Термическое исследование производных ферроцена. *ЦЕНТР НАУЧНЫХ ПУБЛИКАЦИЙ (buxdu.uz)*, 16 (16). Сулаймонова, З. (2022). Термическое исследование производных ферроцена. *ЦЕНТР НАУЧНЫХ ПУБЛИКАЦИЙ (buxdu.uz)*, 16 (16).

8) Сулаймонова, З. А., & Умаров, Б. Б. (2021). Получение мета-нитробензоилгидразона ферроценоилацетона и синтеза на его основе. *Химическая технология. Контроль и управление*, (4), 100.

9) Умаров, Б. Б., Сулаймонова, З. А., Бахранова Д. А. (2020). Синтез β-дикарбонильных производных ферроцена. В *Науке и инновациях в современных условиях Узбекистана» Республиканская научно-практическая конференция. Нукус–2020* (Том 20, стр. 114-115).

10) Сулаймонова, З. (2022). Термическое исследование производных ферроцена. *ЦЕНТР НАУЧНЫХ ПУБЛИКАЦИЙ (buxdu.uz)*, 16(16).

11) Умаров, Б. Б., & Сулаймонова, З. А. (2021). Комплексы меди (II) с гидразоном мета-нитробензоилгидразона с ферроценоилацетона. *ЎзФА академиги, к. ф. д., проф. Парпиев НА таваллудининг*, 90, 61-62.

12) Сулаймонова, З. (2022). Синтез β-дикарбонильного производного ферроцена-ферроценоилацетона. *ЦЕНТР НАУЧНЫХ ПУБЛИКАЦИЙ (buxdu.uz)*, 16 (16).

13) Умаров, Б. Б., & Сулаймонова, З. А. (2021). Синтез комплексов переходных металлов на основе моноацетилферроцена. *ЎзФА академиги, к. ф. д., проф. Парпиев НА таваллудининг*, 90, 56.

14) Сулаймонова, З. (2022). ЯМР СПЕКТРОСКОПИЧЕСКОЕ-ИССЛЕДОВАНИЕ ДИГИДРАЗОНА ЯНТАПНОЙ КИКЛОТЫ С 1-ФЕППОЦЕНИЛБУТАНДИОНОМ-1, 3. *ЦЕНТР НАУЧНЫХ ПУБЛИКАЦИЙ (buxdu.uz)*, 16 (16).

15) Умаров, Б. Б., Сулаймонова, З. А., & Мирзаева, Г. А. (2022). СИНТЕЗ И СПЕКТРОСКОПИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ КОМПЛЕКСНЫХ СОЕДИНЕНИЙ НЕКОТОРЫХ 3D МЕТАЛЛОВ С ПРОДУКТОМ КОНДЕНСАЦИИ 1-ФЕРРОЦЕНИЛБУТАНДИОНА-1.3 И ДИГИДРАЗИДА ЯНТАРНОЙ КИСЛОТЫ. *Universum: химия и биология*, (10-2 (100)), 19-25.

16) Сулаймонова, З. (2022). СИНТЕЗ ЛИГАНДОВ НА ОСНОВЕ ПРОИЗВОДНЫХ ФЕРРОЦЕНА С ГИДРАЗИДАМИ МОНО-И ДИКАРБОНОВЫХ КИСЛОТ. *ЦЕНТР НАУЧНЫХ ПУБЛИКАЦИЙ (buxdu.uz)*, 16(16).

17) Сулаймонова, З. (2021). Комплексы металлов с гидразонами моноацетилферроцена. *ЦЕНТР НАУЧНЫХ ПУБЛИКАЦИЙ (buxdu.uz)*, 3 (3).

18) Умаров, Б. Б., Сулаймонова, З. А., & Ачыллова, М. К. (2021). Синтез комплексов на основе монокарбонильных производных ферроцена с гидразидами карбоновых кислот. *Universum: химия и биология*, (1-1 (79)), 85-89.

19) Турсунов, М. А., Умаров, Б. Б., Авезов, К. Г., Севинчов Н. Г., Сулаймонова, З. А., Парпиев Н. А. (2014, ноябрь). Таутомерия в ряду бензоилгидразонов жирноароматических кетоальдегидов. В *Материалах Республиканской научно-практической конференции: «Современное состояние и перспективы развития коллоидной химии и нанохимии в Узбекистане» (к 100-летию со дня рождения академика К.С. Ахмедова) Ташкент (с. 130)*.

20) Умаров, Б. Б., Сулаймонова, З. А., Мирзаева Г. А. (2022). СИНТЕЗ И СПЕКТРОСКОПИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ КОМПЛЕКСНЫХ СОЕДИНЕННЫХ НЕКОТОРЫХ 3D МЕТАЛЛОВ С ПРОДУКТОМ КОНДЕНСАЦИИ 1-ФЕРРОЦЕНИЛБУТАНДИОНА-1.3 И ДИГИДРАЗИДА ЯНТАРНОЙ КИСЛОТЫ. *Универсум: химия и биология*, (10-2 (100)), 19-25.

21) Сулаймонова, З. (2021). СИНТЕЗ ЛИГАНДОВ НА ОСНОВЕ МОНОКАРБОНИЛЬНЫХ ПРОИЗВОДНЫХ ФЕРРОЦЕНА С ГИДРАЗИДАМИ КАРБОНОВЫХ КИСЛОТ. *ЦЕНТР НАУЧНЫХ ПУБЛИКАЦИЙ (buxdu.uz)*, 3(3).

22) Сулайманова, З. А., & Худаярова, Э. А. (2016). Роль эксперимента в обучении химии. *Ученый XXI века*, (11 (24)), 68-70.

23) Сулайманова, З. А., & Авезова, Ф. М. (2016). "Обучение в сотрудничестве" на уроках химии. *Ученый XXI века*, (11 (24)), 63-64.

24) Тиллаева, Д. М. (2016). БУХОРО ШАРОИТИДА ПЕГАНУМ ХАРМАЛА (ИСИРИК) ЎСИМЛИГИДА АЛКАЛОИДЛАР ТЎПЛАНИШ ДИНАМИКАСИ. *Ученый XXI века*, (3-3 (16)), 18-21.

25) Сулаймонова, З. А., & Наврузова, М. Б. (2023). СИНТЕЗ И ЯМР СПЕКТРОСКОПИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЛИГАНДОВ НА ОСНОВЕ β -ДИКАРБОНИЛЬНЫХ ПРОИЗВОДНЫХ ФЕРРОЦЕНА. *Новости образования: исследование в XXI веке*, 1(11), 260-266.

26) Сулаймонова, З. (2023). Синтез и исследование моноацетилферроценбензоилгидразона и его комплекса с ионом хрома (III). *ЦЕНТР НАУЧНЫХ ПУБЛИКАЦИЙ (buxdu.uz)*, 31 (31).

27) Сулаймонова, З. (2023). СИНТЕЗ И ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЛИГАНДОВ НА ОСНОВЕ β -ДИКАРБОНИЛЬНЫХ ПРОИЗВОДНЫХ ФЕРРОЦЕНА. *ЦЕНТР НАУЧНЫХ ПУБЛИКАЦИЙ (buxdu.uz)*, 32(32).

28) Сулаймонова, З. (2023). СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ БЕНЗОИЛГИДРАЗОНА МОНОАЦЕТИЛФЕРРОЦЕНА И ЕГО КОМПЛЕКСА С ИОНОМ ХРОМА (III). *ЦЕНТР НАУЧНЫХ ПУБЛИКАЦИЙ (buxdu.uz)*, 27 (27).

29) Сулаймонова, З. (2023). ЯМР-СПЕКТРОСКОПИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ДИГИДРАЗОНА ЯНЧАРНОЙ КИСЛОТЫ С 1-ФЕРРОЦЕНИЛБУТАНДИОНОМ-1, 3. *ЦЕНТР НАУЧНЫХ ПУБЛИКАЦИЙ (buxdu.uz)*, 27 (27).

30) Сулаймонова, З. (2023). ИССЛЕДОВАНИЕ КОМПЛЕКСНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПЕРЕХОДНЫХ МЕТАЛЛОВ С ДИГИДРАЗОНОМ ЯНЦИНОВОЙ КИСЛОТЫ НА ОСНОВЕ ФЕРРОЦЕНОЛАЦЕТОНА. *ЦЕНТР НАУЧНЫХ ПУБЛИКАЦИЙ (buxdu.uz)*, 27 (27).

31) Сулаймонова, З. (2022). БИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ КОМПЛЕКСНЫХ СОЕДИНЕНИЙ КАРБОНИЛЬНЫХ ПРОИЗВОДНЫХ ФЕРРОЦЕНА. *ЦЕНТР НАУЧНЫХ ПУБЛИКАЦИЙ (buxdu.uz)*, 25(25).

32) Сулаймонова, З. (2023). Синтез и спектроскопическое исследование комплексных соединений некоторых 3d металлов с продуктом конденсации 1-ферроценилбутандиона-1,3 и дигидразида янтарной кислоты. *ЦЕНТР НАУЧНЫХ ПУБЛИКАЦИЙ (buxdu.uz)*, 32 (32).

33) Сулаймонова, З. (2022). СИНТЕЗ И ИК-СПЕКТРОСКОПИЧЕСКОЕ ИЗУЧЕНИЕ ГИДРАЗОНОВ 1-ФЕРРОЦЕНИЛБУТАНДИОН-1, 3 И ИХ КОМПЛЕКСОВ. *ЦЕНТР НАУЧНЫХ ПУБЛИКАЦИЙ (buxdu.uz)*, 16 (16).

34) Сулаймонова, З. (2023). ИК-СПЕКТРОСКОПИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ КАРБОНИЛЬНЫХ ПРОИЗВОДНЫХ ФЕРРОЦЕНА. *ЦЕНТР НАУЧНЫХ ПУБЛИКАЦИЙ (buxdu.uz)*, 27 (27).

35) Сулаймонова, З. А. (2022). ИССЛЕДОВАНИЕ БИОЛОГИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ПРОИЗВОДНЫХ ФЕРРОЦЕНА. *ТАЛИМ ВА РИВОДЖЛАНИШ ТАХЛИЛИ ОНЛАЙН ИЛМИЙ ЖУРНАЛИ*, 2 (5), 55-60.

36) Умаров, Б. Б., & Сулаймонова, З. А. (2022). БИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ КОМПЛЕКСНЫХ СОЕДИНЕНИЙ КАРБОНИЛЬНЫХ ПРОИЗВОДНЫХ ФЕРРОЦЕНА. In *Kimyo va tibbiyot: nazariyadan amaliyotgacha* (pp. 49-51).

37) Сулаймонова, З. (2021). СТРУКТУРА АЦИЮГИДРАСОНОВ ФЕРРОЦЕНА. *ЦЕНТР НАУЧНЫХ ПУБЛИКАЦИЙ (buxdu.uz)*, 8 (8).