УДК 546.302+546.59+620.3 *Оригинальная статья*

Гибридные материалы на основе гексацианоферратов d-элементов, модифицированных наноразмерным золотом

И.М. Шевченко[1], М.А. Ясная[2], А.А. Блинова[1], А.В. Прасолова[1], А.Д. Гончаров[1], Т.Н. Глижова[1]

[1]ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет»
355017, Россия, Ставрополь, ул. Пушкина, 1
[2]Филиал АО «НПО «Микроген» в городе Ставрополь «Аллерген»
355019, Россия, Ставрополь, ул. Биологическая, 20
ncstushevchenko@mail.ru

DOI: 10.26456/pcascnn/2026.18.985

Аннотация: Впервые в работе представлены результаты исследования влияния состава и соотношения компонентов в процессе синтеза гибридных материалов на основе гексацианоферратов (III) *d*-элементов (кобальт, никель, железо), модифицированных наночастицами золота, на элементный и фазовый состав этих гибридных материалов, микроструктуру их поверхности. По результатам исследований методами сканирующей электронной микроскопии и энергодисперсионной рентгеновской микроскопии установлено, что золото идентифицируется в образцах гексацианоферратов (III) *d*-элементов (*Co*, *Ni*, *Fe*), содержащих от 0,1 до 5,0 масс.% золота. Анализ фазового состава образцов гексацианоферратов *d*-элементов (*Co*, *Ni*, *Fe*), модифицированных золотом, показал, что основными кристаллическими фазами являются соответствующие гексацианоферраты *d*-элементов с кубической гранецентрированной кристаллической решеткой (*Fm*3*m*), также присутствуют примесные фазы смешанных гексацианоферратов. Фазы металлического золота, по результатам рентгенофазового анализа, не определяются. Полученные экспериментальные данные окажутся полезными для разработки и использования перспективных материалов на основе гексацианоферратов (III) *d*-элементов (кобальт, никель, железо) в качестве чувствительных элементов сенсоров на глюкозу. Дополнительная модификация матрицы гексацианоферратов (III) *d*-элементов (кобальт, никель, железо), например, наночастицами благородных металлов способствуют повышению проводимости, селективности и стабильности композиционных материалов при создании сенсоров для оценки уровня глюкозы в крови.

Ключевые слова: гибридные наноматериалы, гексациоаноферраты d-элементов, наночастицы золота, элементный состав, фазовый состав, микроструктура поверхности.

Шевченко Ирина Михайловна – к.т.н., доцент, заведующий кафедрой стандартизации, метрологии и управления качеством факультета пищевой инженерии и биотехнологии им. Академика А.Г. Храмцова ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет»
Ясная Мария Анатольевна – к.х.н., доцент, начальник отдела регистрации лекарственных средств филиала АО «НПО «Микроген» в г. Ставрополь «Аллерген»
Блинова Анастасия Александровна – к.т.н., доцент кафедры фармацевтики и фармакогнозии медико-биологического факультета ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет»
Прасолова Алина Вениаминовна – преподаватель кафедры фармацевтики и фармакогнозии медико-биологического факультета ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет»
Гончаров Артём Дмитриевич – лаборант кафедры теоретической и математической физики физико-технического факультета ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет»
Глижова Тамара Николаевна – к.ф.н., доцент, заведующий кафедрой фармацевтики и фармакогнозии медико-биологического факультета ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет»

© И.М. Шевченко, М.А. Ясная , А.А. Блинова, А.В. Прасолова, А.Д. Гончаров, Т.Н. Глижова, 2026

Original paper

Hybrid materials based on d-element hexacyanoferrates modified with nanosized gold

I.M. Shevchenko[1], M.A. Yasnaya[2], A.A. Blinova[1], A.V. Prasolova[1], A.D. Goncharov[1], T.N. Glizhova[1]
[1]*North Caucasus Federal University, Stavropol, Russia*
[2]*Branch of JSC NPO «Mikrogen» in Stavropol «Allergen», Stavropol, Russia*
ncstushevchenko@mail.ru

DOI: 10.26456/pcascnn/2026.18.985

Abstract: For the first time, we present the results of a study on the influence of the composition and ratio of components in the synthesis process of hybrid materials based on hexacyanoferrates (III) of *d*-elements (cobalt, nickel, iron), modified with gold nanoparticles, on the elemental and phase composition of these hybrid materials and on the microstructure of their surface. According to the results of investigations using scanning electron microscopy and energy dispersive X-ray microscopy, it was found that gold was identified in samples of hexacyanoferrates (III) of *d*-elements (*Co*, *Ni*, *Fe*) containing from 0,1 to 5,0 masses.% gold. Analysis of the phase composition of samples of hexacyanoferrates of *d*-elements (*Co*, *Ni*, *Fe*) modified with gold showed that the main crystalline phases were the corresponding hexacyanoferrates of *d*-elements with a face-centered cubic crystal lattice (*Fm*3*m*); impurity phases of mixed hexacyanoferrates were also present. According to the results of X-ray phase analysis, the phases of metallic gold cannot be identified. The obtained experimental data will be useful for the development and use of promising materials based on hexacyanoferrates (III) of *d*-elements (cobalt, nickel, iron) as sensitive elements in glucose sensors. Additional modification of the matrix of hexacyanoferrates (III) of *d*-elements (cobalt, nickel, iron), for example, with nanoparticles of noble metals, helps to increase the conductivity, selectivity, and stability of composite materials when creating sensors for assessing blood glucose levels.

Keywords: hybrid nanomaterials, hexacyanoferrates of d-elements, gold nanoparticles, elemental composition, phase composition, surface microstructure.

Irina M. Shevchenko – Ph. D., Associate Professor, Head of the Department of Standardization, Metrology and Quality Management, Faculty of Food Engineering and Biotechnology Academician A.G. Khramtsova, North Caucasus Federal University, ORCID: 0009-0005-9113-9335
Maria A. Yasnaya – Ph. D., Associate Professor, Head of the Department of Registration of Medicines at the branch of NPO Microgen JSC in Stavropol Allergen, ORCID:0000-0002-4486-4834
Anastasia A. Blinova – Ph. D., Associate Professor, Department of Pharmacy and Pharmacognosy, Faculty of Medicine and Biology, North Caucasus Federal University, ORCID: 0000-0001-9321-550X
Alina V. Prasolova – Lecturer, Department of Pharmacy and Pharmacognosy, Faculty of Medicine and Biology, North Caucasus Federal University, ORCID: 0009-0003-7629-4391
Artem D. Goncharov – Laboratory Assistant, Department of Theoretical and Mathematical Physics, Faculty of Physics and Technology, North Caucasus Federal University
Tamara N. Glizhova – Ph. D., Associate Professor, Head of the Department of Pharmacy and Pharmacognosy, Faculty of Medicine and Biology, North Caucasus Federal University, ORCID: 0000-0003-4311-5636

Поступила в редакцию/received: 02.08.2026; после рецензирования/revised: 14.09.2026; принята/accepted: 16.09.2026.

1. Введение

На сегодняшний день более 3,5% населения Российской Федерации страдает сахарным диабетом, и они сталкиваются с необходимостью ежедневно и многократно проводить измерение концентрации глюкозы в крови. Скрининг по требованию, мониторинг в реальном времени и быстрая диагностика распространенных заболеваний, таких как диабет, на ранних стадиях являются неотъемлемой частью персонализированного лечения [1-5]. В настоящее время наблюдается растущий интерес к портативным устройствам многоразового использования для оценки

уровня глюкозы в крови. Несмотря на наличие в свободной продаже коммерчески доступных медицинских изделий для контроля уровня глюкозы в крови, по-прежнему остается актуальной проблема повышения чувствительности и точности методов контроля уровня глюкозы в крови, уменьшения стоимости расходных материалов (тест-полосок) для пациентов с сахарным диабетом [6-8, 9].

Материалы на основе гексацианоферратов (ГЦФ) d-элементов (Co, Ni, Fe) активно исследуются в качестве чувствительных элементов сенсоров на глюкозу. При определенных условиях гексацианоферраты d-элементов (Co, Ni, Fe) проявляют электрокаталитическую активность в отношении реакции окисления глюкозы, при этом наблюдается пропорциональная зависимость между изменением электродного потенциала сенсора и концентрацией глюкозы. Однако, активные каталитические центры в гексацианоферратах d-элементов мало стабильны. Для повышения стабильности, чувствительности и селективности сенсоров на глюкозу, в матрицу гексацианоферратов d-элементов (Co, Ni, Fe) вводят модифицирующие добавки, например, наночастицы благородных металлов, которые способствуют повышению проводимости, селективности и стабильности композиционных материалов. Использование наночастиц золота ($AuNPs$) для улучшения характеристик электрохимических сенсоров (предел обнаружения, селективность, время отклика) – актуальное направление [10]. Гексацианоферраты d-элементов – это координационные полимеры с полупроводниковыми или умеренно проводящими свойствами. Включение в состав материала на основе гексацианоферратов d-элементов (Co, Ni, Fe) наночастиц золота позволит увеличить электропроводность гибридного материала, так как золото – это металл с одним из самых высоких значений удельной электропроводности, уступающий только серебру и меди. При модифицировании гексацианоферратов d-элементов наночастицами золота, за счет формирования «мостиков» из $AuNPs$ между зернами гексацианоферрата, ускоряется процесс переноса электронов, снижается время отклика сенсора, растет чувствительность и снижается предел обнаружения глюкозы. Наиболее перспективным методом получения гибридных материалов на основе гексацианоферратов d-элементов, модифицированных наноразмерным золотом, является химический метод, который позволяет в широком диапазоне варьировать параметры синтеза, соотношение компонентов и получать материалы с заданными свойствами. Целью данной работы является разработка методики получения гибридных материалов на основе гексацианоферратов (III) d-элементов (Co, Ni, Fe), модифицированных наночастицами золота и исследование их элементного и фазового состава, микроструктуры поверхности.

2. Экспериментальная часть

Золи гексацианоферратов (III) d-элементов (Co, Ni, Fe) получали методом химического осаждения в водных растворах при комнатной температуре. В ходе предварительных экспериментов провели исследование влияния соотношения исходных веществ (гексацианоферрат (III) калия, нитрат кобальта (II), хлорид никеля (II), сульфат железа (II)) на размер коллоидных частиц и стабильность золей. Для этого синтезировали серии образцов с различным мольным соотношением исходных веществ (гексацианоферрат (III) калия : соль d-элемента). Результаты эксперимента показали, что коллоидные частицы ГЦФ Co / ГЦФ Ni / ГЦФ Fe с наименьшим радиусом наблюдались при мольном соотношении гексацианоферрат (III) калия:соли d-элементов, равном 1:1. Это же соотношение компонентов использовали при получении гибридных материалов на основе гексацианоферратов d-элементов, модифицированных золотом.

Для модификации поверхности гексацианоферратов d-элементов (Co, Ni, Fe) наночастицами золота, в золи соответствующих ГЦФ d-элементов вводили различные количества золотохлористоводородной кислоты (от 0,1 до 5,0 масс.% золота). В качестве восстановителя использовали борогидрид натрия.

Контроль за содержанием наночастиц золота в надосадочной жидкости после центрифугирования образцов проводили методом оптической спектрофотометрии на лабораторном спектрофотометре UNICO 2802S (United products and Instruments, США) в диапазоне длин волн от 190 до 1100 нм, с шагом 1 нм. Измерение спектров поглощения надосадочной жидкости после центрифугирования проводили относительно дистиллированной воды.

После удаления надосадочной жидкости образцы сушили при температуре 70 °С. Фазовый состав полученных образцов ГЦФ Co / ГЦФ Ni / ГЦФ Fe, модифицированных золотом, исследовали методом рентгенофазового анализа (РФА) на рентгеновском дифрактометре PANanalitical Empyrean (PANanalitical, Нидерланды). Структуру и элементный состав образцов исследовали методами сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) и методом энергодисперсионной рентгеновской микроскопии на сканирующем электронном микроскопе JEOL JSM – 6010LA (JEOL, Япония).

3. Обсуждение результатов

Результаты исследования элементного состава образцов гексацианоферратов d-элементов, модифицированных золотом, представлены в Таблице 1.

Таблица 1. Результаты исследования элементного состава образцов гексацианоферратов *d* -элементов, модифицированных золотом.

№ п/п	Элемент-ный состав	ГЦФ $Co-Au$ (Au , теор. масс.%)				ГЦФ $Ni-Au$ (Au , теор. масс.%)				ГЦФ $Fe-Au$ (Au , теор. масс.%)			
		0	0,1	1,0	5,0	0	0,1	1,0	5,0	0	0,1	1,0	5,0
1	N , масс.%	29,9	17,71	27,7	22,38	49,1	20,0	21,6	7,30	17,7	19,7	-	-
2	O , масс.%	8,93	5,04	7,18	5,17	24,1	9,00	8,39	4,37	19,6	7,40	-	7,7
3	Fe , масс.%	8,96	11,65	7,67	15,93	8,49	6,17	7,44	17,4	19,9	22,8	23,6	30,1
4	Ni , масс.%	-	-	-	-	12,3	8,55	10,0	20,9	-	-	-	-
5	Co , масс.%	13,1	16,13	10,8	21,39	-	-	-		-	-	-	-
6	K , масс.%	1,74	5,00	1,99	8,13	1,39	3,13	3,71	3,78	5,83	7,54	8,99	7,46
7	Si , масс.%	0,12	-	0,02	0,12	2,20	0,03	0,03	-	0,17	0,04	-	-
8	Al , масс.%	-	-	0,04	-	2,14	0,15	0,49	0,12	-	0,04	0,30	0,05
9	Cl , масс.%	-	-	0,09	0,32	-	1,04	1,27	1,52	-	0,11	0,39	1,10
10	C , масс.%	37,2	44,46	44,4	26,28	-	51,9	46,9	44,4	31,6	41,6	65,1	52,35
11	Na , масс.%	-	-	-	-	-	-	-	-	1,54	-	0,05	-
12	P , масс.%	-	-	-	-	-	-	-	-	3,35	-	-	-
13	S , масс.%	-	-	-	-	-	-	-	-	0,31	0,72	1,20	0,78
14	Au , практ. масс.%	-	0,01	0,08	0,27	-	-	0,09	0,16	-	-	0,32	0,45

На рис. 1 представлены карты распределения элементов (азота, железа, углерода и золота) и энергодисперсионный рентгеновский спектр (ЭДС) на примере образцов ГЦФ Fe, модифицированных золотом (5,0 масс.%). Анализ ЭДС-спектров образцов ГЦФ Co / ГЦФ Ni / ГЦФ Fe, модифицированных золотом, показал, что золото идентифицируется в образах ГЦФ $Co-Au$, содержащих от 0,1 до 5,0 масс.% Au, при этом практическое содержание золота в композитах сильно отличается от теоретически рассчитанного количества. В образцах ГЦФ $Ni-Au$ и ГЦФ $Fe-Au$ золото идентифицируется в образцах, содержащих 1,0 – 5,0 масс.% Au. При этом экспериментально определенное содержание золота в композитах значительно ниже теоретически рассчитанного количества. Наличие в ЭДС-спектрах азота, углерода, железа, никеля и кобальта подтверждает образование ГЦФ никеля, кобальта и железа в гибридном материале.

Анализ полученных карт распределения показал, что в образцах ГЦФ Co / ГЦФ Ni / ГЦФ Fe и гибридных материалах на основе ГЦФ Co / ГЦФ Ni / ГЦФ Fe, модифицированных Au, области концентраций элементов азота (N), железа (Fe), никеля (Ni), кобальта (Co) на картах распределения совпадают с положением агрегатов на СЭМ-изображениях. При этом внутри областей азот (N), железо (Fe), никель (Ni), кобальт (Co) распределены равномерно, что подтверждает присутствие в образцах соответствующих гексацианоферратов (III) кобальта / никеля/ железа.

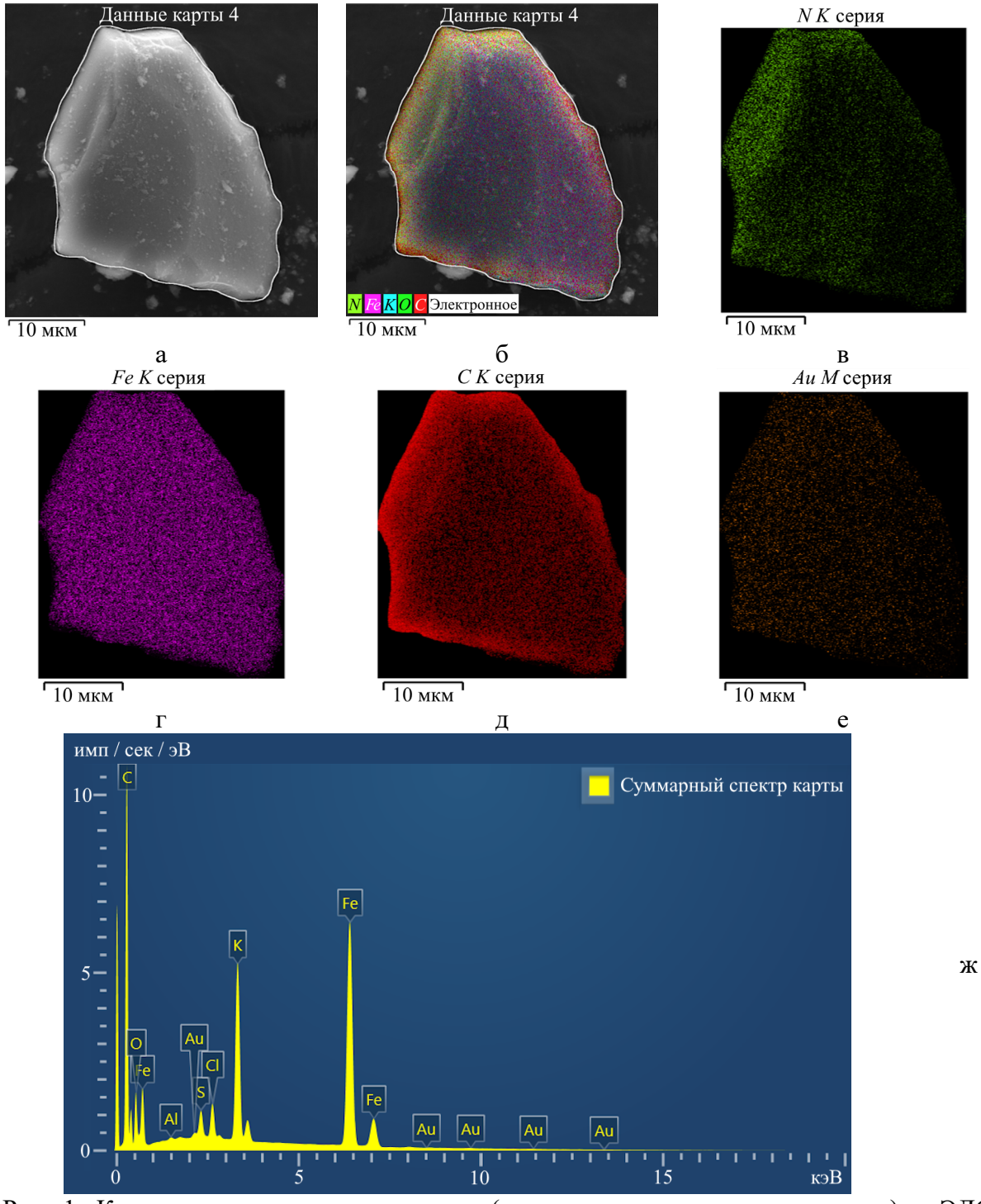


Рис. 1. Карты распределения элементов (азота, железа, углерода и золота) и ЭДС-спектр на примере образцов ГЦФ Fe, модифицированного золотом (5,0 масс.%): а – СЭМ-изображение участка образца ГЦФ $Fe-Au$ для съемки элементного состава, б – многослойная карта ЭДС, в – карта распределения N, г – карта распределения Fe, д – карта распределения C, е – карта распределения Au, ж – ЭДС-спектр.

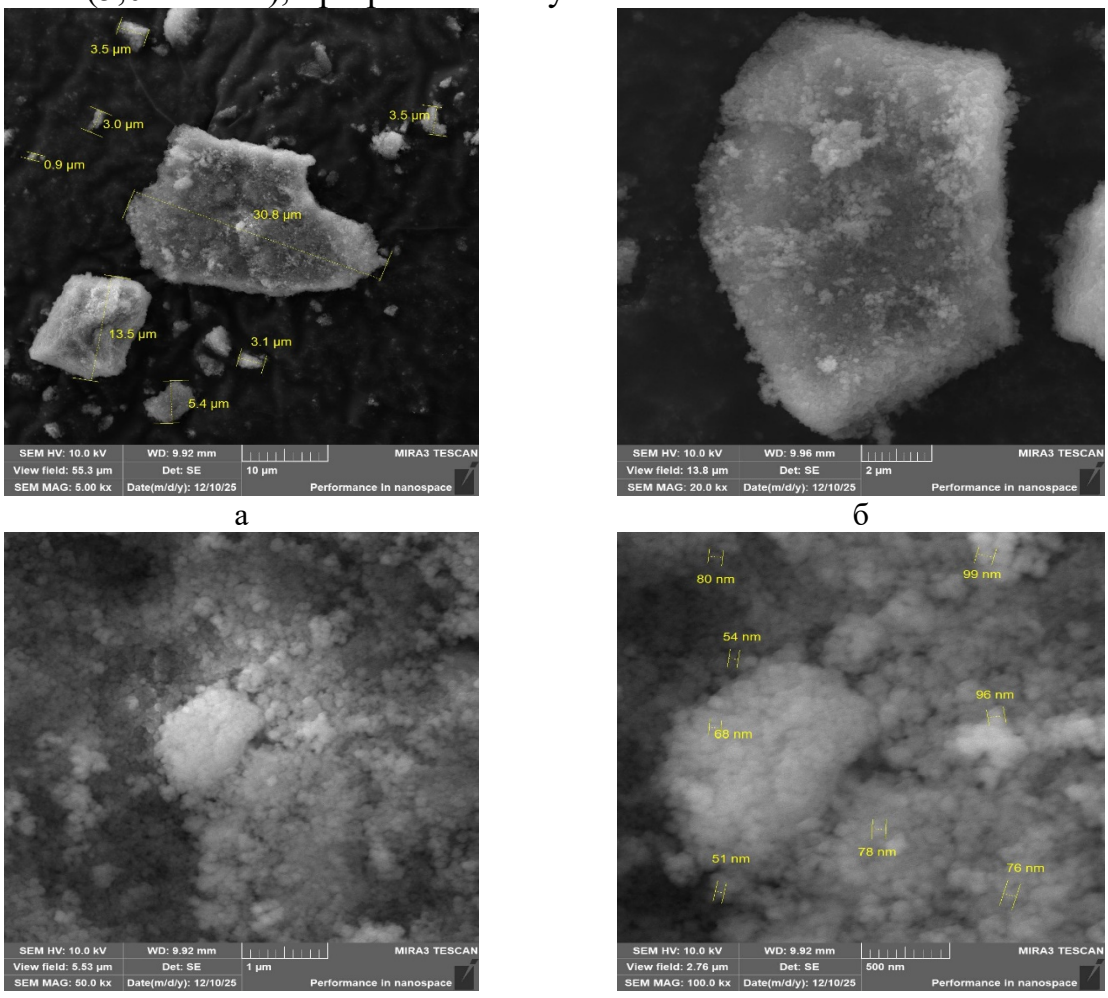
Различие между расчетными и экспериментально определенными содержаниями благородных металлов в гибридных материалах гексацианоффератов d-элементов (Co, Ni, Fe), модифицированных

золотом, может говорить о том, что:

1) часть ионов золота восстанавливается в объеме раствора, что подтверждается результатами контроля содержания наночастиц золота в надосадочной жидкости после центрифугирования образцов (в спектрах поглощения присутствуют максимумы в области длин волн от 520 до 550 нм, обусловленные явлением поверхностного плазмонного резонанса наночастиц золота);

2) часть ионов золота сорбируется не на поверхности гексацианоферратов d-элементов, а входит в его структуру (каналы) (гексацианоферраты d-элементов обладают кристаллической решеткой с диаметром пор от 3,0 до 3,5 Å, которые по размеру значительно превышают размер катионов золота).

На рис. 2-4 представлены СЭМ-микрофотографии образцов гексацианоферратов d-элементов (Co, Ni, Fe) модифицированных золотом (5,0 масс.%), при различных увеличениях.



а б

в г

Рис. 2. СЭМ-микрофотография образца ГЦФ Co, модифицированного золотом (5,0 масс.%). Увеличение: а – 5000×, б – 20000×, в – 50000×, г – 100000×. Здесь и далее размерные метки в мкм и нм.

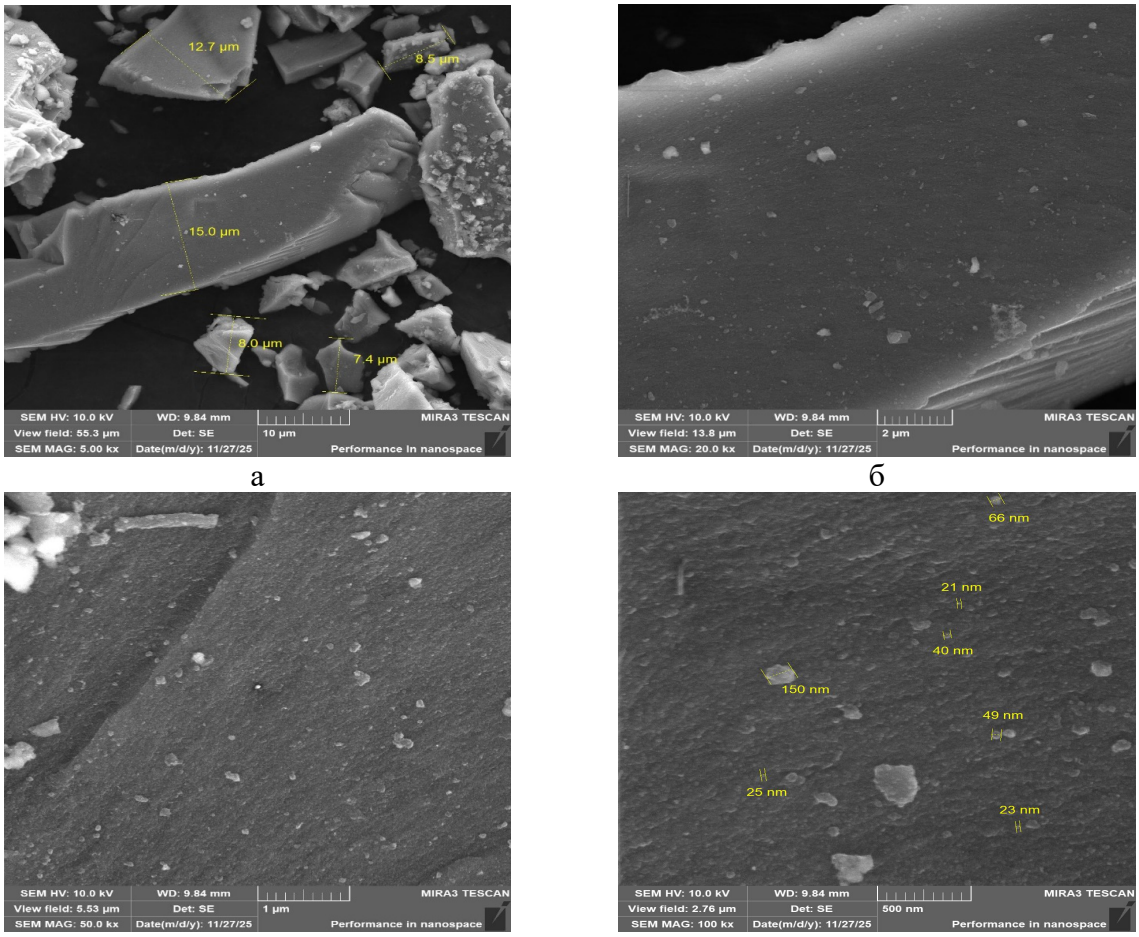


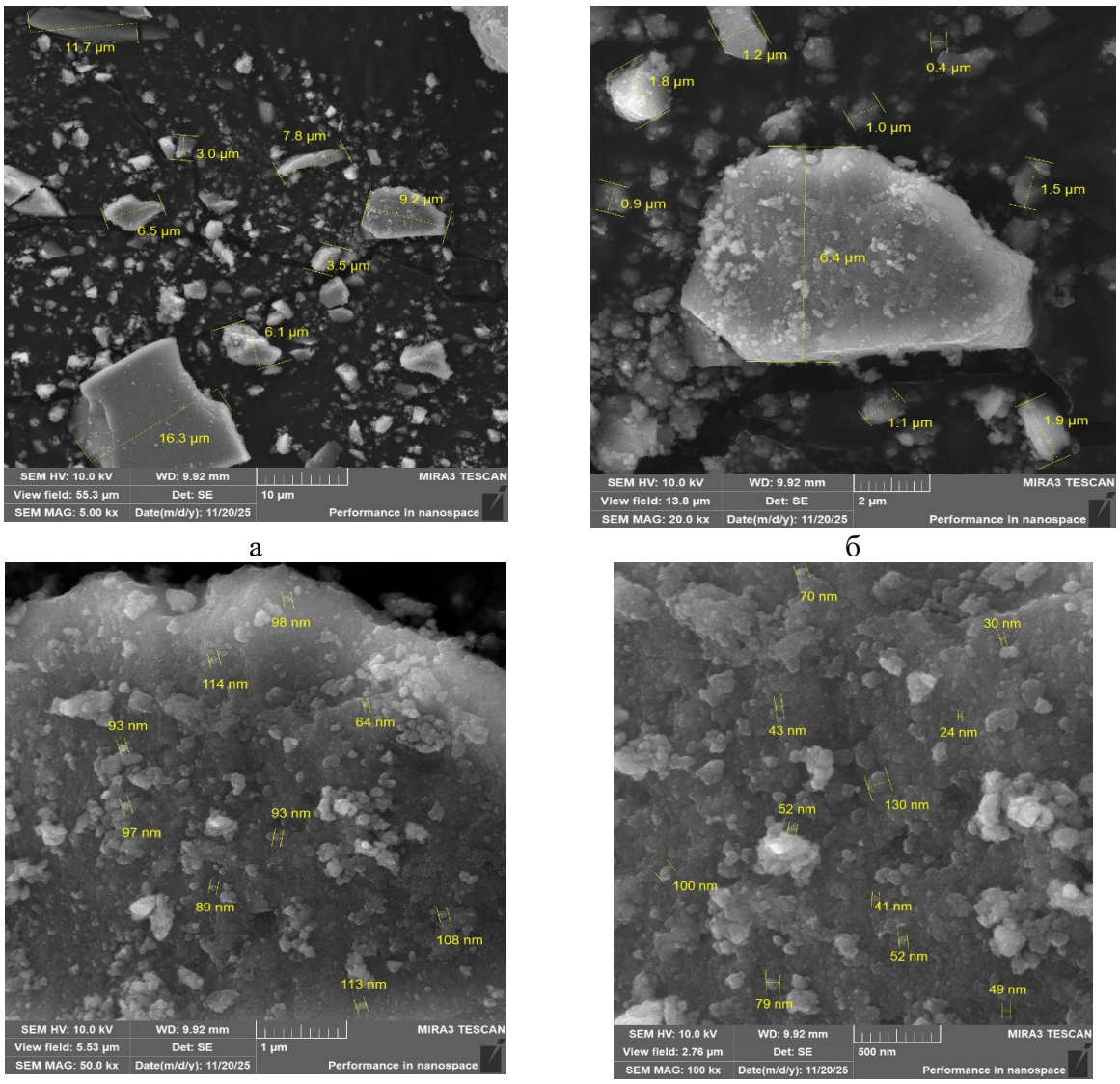
Рис. 3. СЭМ-микрофотография образца ГЦФ Ni, модифицированного золотом (5,0 масс.%). Увеличение: а – 5000×, б – 20000×, в – 50000×, г – 100000×.

Анализ СЭМ-изображений показал, что образцы ГЦФ Co / ГЦФ Ni / ГЦФ Fe и гибридные материалы на основе ГЦФ Co / ГЦФ Ni / ГЦФ Fe, модифицированные золотом, состоят из агрегатов неправильной формы, образованных более мелкими частицами с размерами от 19 до 150 нм.

Анализ фазового состава образов ГЦФ Co и гибридных материалов ГЦФ $Co-Au$ показал, что основной кристаллической фазой является гексацианоферрат (III) кобальта с кубической гранецентрированной решеткой ($Fm3m$), при этом присутствует примесная фаза гексацианоферрата (III) кобальта-калия с орторомбической кристаллической решеткой ($Pmn21$). В образцах композиционных материалов ГЦФ $Co-Au$ фаза металлического золота не идентифицируются, в связи с низким содержанием золота в образцах, что согласуется с результатами энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии.

Анализ фазового состава образов ГЦФ Ni и гибридных материалов на основе ГЦФ $Ni-Au$ показал, что основной кристаллической фазой

является гексацианоферрат (III) никеля с кубической гранецентрированной решеткой ($Fm3m$). В образцах гибридных материалов ГЦФ Ni с золотом фазы золота не идентифицируются вне зависимости от концентрации благородного металла.



а б

в г

Рис. 4. СЭМ-микрофотография образца ГЦФ Fe, модифицированного золотом (5,0 масс.%). Увеличение: а – 5000×, б – 20000×, в – 50000×, г – 100000×.

Анализ фазового состава образов ГЦФ Fe и композиционных материалов на основе ГЦФ $Fe-Au$, позволил установить, что основной кристаллической фазой является гексацианоферрат (III) железа с кубической гранецентрированной решеткой ($Fm3m$), при этом присутствует примесная фаза гексацианоферрата (III) железа-калия. В образцах гибридных материалов ГЦФ $Fe-Au$ фазы металлического золота не идентифицируются вне зависимости от концентрации благородного металла.

4. Заключение

Разработаны методики получения гибридных материалов на основе гексацианоферратов d-элементов (Co, Ni, Fe), модифицированных золотом. Определено оптимальное соотношение гексацианоферрата (III) калия и солей d-элементов, позволяющее получать коллоидные частицы гексацианоферратов d-элементов (Co, Ni, Fe) наименьшего размера. Проведено исследование элементного состава и микроструктуры полученных образцов гексацианоферратов d-элементов (Co, Ni, Fe), модифицированных золотом. Анализ ЭДС-спектров образцов гексацианоферратов d-элементов (Co, Ni, Fe), модифицированных золотом, показал, что золото идентифицируется в образцах, содержащих от 0,1 до 5,0 масс.% Au. При этом практическое содержание золота в композитах сильно отличается от теоретически рассчитанного количества, что связано, во-первых, с восстановлением части ионов золота в объеме раствора и удалением их в процессе отмывки образцов, а во-вторых, с адсорбцией ионов золота не на поверхности, а в структуре (каналах) гексацианоферратов d-элементов. Анализ фазового состава образцов гексацианоферратов d-элементов (Co, Ni, Fe), модифицированных золотом, показал, что основными кристаллическми фазами являются соответствующие гексацианоферраты d-элементов с кубической гранецентрированной кристаллической решеткой ($Fm3m$), также присутствуют примесные фазы смешанных гексацианоферратов. Фазы металлического золота не идентифицируются независимо от концентрации благородного металла.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-23-00111, https://rscf.ru/project/25-23-00111/.

Библиографический список:

1. **Bruns, D.E**. Diagnosis of gestational diabetes mellitus will be flawed until we can measure glucose / D.E. Bruns, B.E. Metzger, D.B. Sacks // Clinical Chemistry. – 2020. – V. 66. – I. 2. – P. 265-267. DOI: 10.1093/clinchem/hvz027.

2. **Elmaleh-Sachs, A.** Obesity management in adults: a review / A. Elmaleh-Sachs, J.L. Schwartz, C.T. Bramante et al. // The Journal of the American Medical Association. – 2023. – V. 330. – I. 20. – P. 2000-2015. DOI: 10.1001/jama.2023.19897.

3. **Mariadoss, A.V.A**. Diabetes mellitus and diabetic foot ulcer: etiology, biochemical and molecular based treatment strategies via gene and nanotherapy / A.V.A. Mariadoss, A.S. Sivakumar, C.H. Lee, S.J. Kim // Biomedicine & Pharmacotherapy. – 2022. – V. 151. – Art. № 113134. – 14 p. DOI: 10.1016/j.biopha.2022.113134.

4. **Mutluer, T.** The effect of problem-solving skills on blood glucose regulation and disease management in children with type 1 diabetes mellitus / T. Mutluer, H.A. Genç, T. Demir et al. // Journal of Pediatric Endocrinology and Metabolism. – 2023. – V. 36. – I. 10. – P. 949-956. DOI: 10.1515/jpem-2023-0282.

5. **García-Moreno, R.M.** Predictors of postpartum glucose metabolism disorders in women with gestational diabetes mellitus / R.M. García-Moreno, P. Benítez-Valderrama, B. Barquiel et al. // Diabetes & Metabolic Syndrome: Clinical Research & Reviews. – 2022. – V. 16. – I. 10. – Art. № 102629. – 7 p. DOI: 10.1016/j.dsx.2022.102629.

6. **Itiola, A.J.** The impact of blood glucose test strips reimbursement limits on utilization, costs, and health-care

utilization in British Columbia / A.J. Itiola, L. Cheng, W. Zhang et al. // Canadian Journal of Diabetes. – 2024. – V. 48. – I. 1. – P. 10-17. DOI: 10.1016/j.jcjd.2023.08.005.
7. **Nikitina, V.N.** Glucose test strips with the largest linear range made via single step modification by glucose oxidase-hexacyanoferrate-chitosan mixture / V.N. Nikitina, A.R. Karastsialiova, A.A. Karyakin // Biosensors and Bioelectronics. – 2023. – V. 220. – Art. № 114851. – 7 p. DOI: 10.1016/j.bios.2022.114851.
8. **Torné-Morató, H.** Nanoplasmonic strip test for salivary glucose monitoring / H. Torné-Morató, P. Donati, P.P. Pompa // Nanomaterials (Basel). – 2022. – V. 12. – I. 1. – Art. № 105. – 8 p. DOI: 10.3390/nano12010105.
9. **Theyagarajan, K.** A nanohybrid-based smartphone-compatible high performance electrochemical glucose sensor / K. Theyagarajan, B.A. Lakshmi, C. Kim, Y.-J. Kim // Materials Today Chemistry. – 2024. – V. 41. – Art. № 102282. – 10 p. DOI: 10.1016/j.mtchem.2024.102282.
10. **Si, P.** Gold nanomaterials for optical biosensing and bioimaging / P. Si, N. Razmi, O. Nur et al. // Nanoscale Advances. – 2021. – V. 3. – I. 10. – P. 2679-2698. DOI: 10.1039/d0na00961j.

References:

1. Bruns D.E., Metzger B.E., Sacks D.B. Diagnosis of gestational diabetes mellitus will be flawed until we can measure glucose, *Clinical Chemistry*, 2020. vol. 66, issue 2, pp. 265-267. DOI: 10.1093/clinchem/hvz027.
2. Elmaleh-Sachs A., Schwartz J.L., Bramante C.T. et al. Obesity management in adults: a review, *The Journal of the American Medical Association*, 2023, vol. 330, issue 20, pp. 2000-2015. DOI: 10.1001/jama.2023.19897.
3. Mariadoss A.V.A., Sivakumar A.S., Lee C.H., Kim S.J. Diabetes mellitus and diabetic foot ulcer: etiology, biochemical and molecular based treatment strategies via gene and nanotherapy, *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 2022, vol. 151, art. no. 113134, 14 p. DOI: 10.1016/j.biopha.2022.113134.
4. Mutluer T., Genç H.A., Demir T. et al. The effect of problem-solving skills on blood glucose regulation and disease management in children with type 1 diabetes mellitus, *Journal of Pediatric Endocrinology and Metabolism*, 2023, vol. 36, issue 10, pp. 949-956. DOI: 10.1515/jpem-2023-0282.
5. García-Moreno R.M., Benítez-Valderrama P., Barquiel B. et al. Predictors of postpartum glucose metabolism disorders in women with gestational diabetes mellitus, *Diabetes & Metabolic Syndrome: Clinical Research & Reviews*, 2022, vol. 16, issue 10, art. no. 102629, 7 p. DOI: 10.1016/j.dsx.2022.102629.
6. Itiola A.J., Cheng L., Zhang W. et al. The impact of blood glucose test strips reimbursement limits on utilization, costs, and health-care utilization in British Columbia, *Canadian Journal of Diabetes*, 2024, vol. 48, issue 1, pp. 10-17. DOI: 10.1016/j.jcjd.2023.08.005.
7. Nikitina V.N., Karastsialiova A.R., Karyakin A.A. Glucose test strips with the largest linear range made via single step modification by glucose oxidase-hexacyanoferrate-chitosan mixture, *Biosensors and Bioelectronics*, 2023, vol. 220, art. no. 114851, 7 p. DOI: 10.1016/j.bios.2022.114851.
8. Torné-Morató H., Donati P., Pompa P.P. Nanoplasmonic strip test for salivary glucose monitoring, *Nanomaterials (Basel)*, 2022, vol. 12, issue 1, art. no. 105, 8 p. DOI: 10.3390/nano12010105.
9. Theyagarajan K., Lakshmi B.A., Kim C., Kim Y.-J. A nanohybrid-based smartphone-compatible high performance electrochemical glucose sensor, *Materials Today Chemistry*, 2024, vol. 41, art. no 102282, 10 p. DOI: 10.1016/j.mtchem.2024.102282.
10. Si P., Razmi N., Nur O. et al. // Gold nanomaterials for optical biosensing and bioimaging, *Nanoscale Advances*, 2021, vol. 3, issue 10, pp. 2679-2698. DOI: 10.1039/d0na00961j.