

EDN: IBBVJC

УДК 542.65:66.093:661.887

Obtaining High Purity Basic Bismuth Carbonate for Antiulcer Drug

Ekaterina S. Koledova^{*a, b},

Anastasia D. Tyumentseva^{a, c} and Yuri M. Yukhin^a

^a*Institute of Solid State Chemistry and Mechanochemistry SB RAS*

^b*Novosibirsk State Pedagogical University*

^c*Novosibirsk State Technical University*

Novosibirsk, Russian Federation

Received 14.09.2023, received in revised form 22.02.2024, accepted 07.05.2024

Abstract. Hydrolytic processing of metal bismuth to obtain high-purity basic carbonate was investigated by means of X-ray phase, granulometric, atomic absorption, and chemical analyses, along with electron microscopy. The methods of obtaining basic bismuth carbonate $(\text{BiO})_2\text{CO}_3$ by precipitation from bismuth-containing nitric and lactic acid solutions after the addition of these solutions to ammonium carbonate solutions, and by the interaction of basic bismuth nitrates differing from each other in composition with ammonium carbonate solution are compared. The conditions for the formation of high-purity basic bismuth carbonate $(\text{BiO})_2\text{CO}_3$ are determined.

Keywords: basic bismuth carbonate, bismuth oxide, nitric acid, lactic acid, ammonium carbonate, precipitation.

Citation: Koledova E. S., Tyumentseva A. D., Yukhin Yu. M. Obtaining high purity basic bismuth carbonate for antiulcer drug. *J. Sib. Fed. Univ. Chem.*, 2024, 17(2), 227–237. EDN: IBBVJC



Получение основного карбоната висмута высокой чистоты для противоязвенного лекарственного препарата

Е. С. Коледова^{а, б*}, А. Д. Тюменцева^{а, в}, Ю. М. Юхин^а

^аИнститут химии твердого тела и механохимии СО РАН

^бНовосибирский государственный педагогический университет

^вНовосибирский государственный технический университет

Российская Федерация, Новосибирск

Аннотация. Методами рентгенофазового, гранулометрического, атомно-абсорбционного и химического анализов, а также электронной микроскопии исследована гидролитическая переработка металлического висмута с получением основного карбоната высокой чистоты. Проведено сравнение способов получения основного карбоната висмута состава $(\text{BiO})_2\text{CO}_3$ осаждением из висмутсодержащих азотно- и молочнокислых растворов при добавлении их к растворам карбоната аммония, а также путем взаимодействия основных нитратов висмута различных составов с раствором карбоната аммония. Определены условия образования основного карбоната висмута состава $(\text{BiO})_2\text{CO}_3$ высокой чистоты.

Ключевые слова: основной карбонат висмута, оксид висмута, азотная кислота, молочная кислота, карбонат аммония, осаждение.

Citation: Коледова Е. С., Тюменцева А. Д., Юхин Ю. М. Получение основного карбоната висмута высокой чистоты для противоязвенного лекарственного препарата. J. Sib. Fed. Univ. Chem., 2024, 17(2), 227–237. EDN: IBBVJC

Соединения висмута широко используются в медицине при изготовлении антисептических препаратов, а также лекарственных средств для борьбы с желудочно-кишечными заболеваниями [1, 2].

Основной карбонат висмута состава $(\text{BiO})_2\text{CO}_3$ (субкарбонат висмута, оксокарбонат висмута, карбонат висмутила) используется в качестве фармакопейного препарата за рубежом [2–4] при лечении заболеваний желудка и двенадцатиперстной кишки, гастрита типа В, причиной которого является бактерия *Helicobacter pylori*, а также отмечается [5], что это самое распространенное соединение висмута в фармакологии. Карбонат висмута состава $(\text{BiO})_2\text{CO}_3 \cdot 0.5\text{H}_2\text{O}$ применяется для лечения внелегочных форм туберкулеза и болезней желудка [6]. Карбонаты калия, натрия и аммония осаждают из растворов солей висмута белые осадки, представляющие собой основной карбонат висмута [7].

Обычно соединения висмута получают растворением металлического висмута в азотной кислоте, поскольку она является одним из лучших растворителей висмута и его сплавов. В качестве исходного сырья используют висмут марки Ви1, содержащий не менее 98 % висмута и не более 1,8 % свинца, 0,12 % серебра, 0,01 % меди. Одним из требований, предъявляемых к лекарственным препаратам, является высокая чистота. Так, в зарубежных фармакопеях к основному карбонату висмута предъявляют следующие требования по чистоте: хлориды – не более

0,05 %, щелочные и щелочноземельные металлы – не более 1,0 %, нитраты – не более 0,4 %, серебро – не более 0,0025 %, мышьяк – не более 0,0005 %, медь – не более 0,005 %, свинец – не более 0,002 % [3]. В России основной карбонат висмута производится только квалификации «ч» (ТУ 6–09–02–217–77) с содержанием: основного вещества – не менее 99 %, нерастворимых в азотной кислоте веществ – 0,01 %, хлоридов – 0,2 %, сульфатов – 0,1 %, щелочных и щелочноземельных металлов – 1,5 %, общего азота – 0,1 %, железа – 0,02 %, серебра – 0,001 %. При этом техническими условиями не нормируется даже содержание свинца, а также отмечается, что продукт предназначен только для лабораторного или производственного применения, не подлежит использованию в сфере обращения лекарственных средств и не включен в ГРЛС РФ.

В работе [8] предложены способы получения основного карбоната висмута путем осаждения из азотнокислых растворов в результате добавления к ним растворов карбоната аммония или при обратном порядке добавления реагентов при $\text{pH} \geq 7$ и температуре $(22 \pm 2)^\circ\text{C}$. В обоих случаях совместно с висмутом осаждаются и основные примесные металлы – свинец, серебро и др., вследствие чего необходима предварительная очистка. Предложен вариант получения основного карбоната висмута высокой чистоты путем предварительного осаждения из азотнокислых растворов основного нитрата висмута состава $\text{Bi}_6\text{O}_4(\text{OH})_4(\text{NO}_3)_6 \cdot \text{H}_2\text{O}$ с дальнейшей обработкой данного прекурсора раствором карбоната аммония.

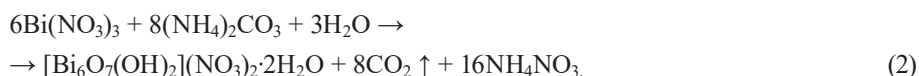
В настоящей статье проведено сравнение способов получения основного карбоната висмута осаждением из азотно- и молочнокислых растворов, а также по реакции взаимодействия оксогидроксонитрата висмута с раствором карбоната аммония с целью получения основного карбоната висмута для медицины.

Материалы и методы

Рентгенофазовый анализ (РФА) продуктов реакции проводили на дифрактометре Bruker D8 Advance с использованием $\text{Cu}_{\text{K}\alpha}$ -излучения в диапазоне углов $4^\circ < 2\theta < 70^\circ$ с шагом $0,02^\circ$. Идентификация фаз проводилась с использованием порошковой базы данных PDF-4 (2011 г.) [9]. Определение макроколичеств висмута в растворах и осадках проводили титрованием комплексоном (III) с использованием в качестве индикатора ксиленолового оранжевого, а микроколичества висмута определяли фотоколориметрически в присутствии иодида калия [10]. Количественный анализ на примесные металлы осуществляли атомно-абсорбционным методом на спектрофотометре Varian AA 280FS (Австралия). Содержание нитрат-ионов в основном карбонате висмута определяли после их перевода в раствор путем предварительной обработки основного карбоната висмута раствором гидроксида натрия с концентрацией 3 моль/л при температуре $(70\text{--}90)^\circ\text{C}$. Для определения концентрации нитрат-ионов использовали колориметрический метод с салицилатом натрия [11]. Измерение значений pH растворов осуществляли pH-метре ОР-264/1 (Венгрия) с помощью стеклянного или обновляемого твердого электрода. Удельную поверхность измеряли методом БЭТ, перед проведением измерений образцы прогревали в токе Ar/He при температуре 100°C в течение 30 мин. Гранулометрический анализ порошковых материалов проводили с помощью лазерного анализатора размеров частиц Микросайзер 201А (ООО «ВА Инсталт», Россия), перед проведением анализа образцы подвергались ультразвуковой обработке (200W) в течение 30 сек. Электронно-микроскопические снимки получали с использованием сканирующего электронного микроскопа Hitachi TM 1000 (Япония).

В работе использовали минеральные кислоты, соли и основания квалификации «хч».

В качестве прекурсоров использовали основные нитраты висмута составов $\text{Bi}_6\text{O}_4(\text{OH})_4(\text{NO}_3)_6 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (рис. 1, 1), $[\text{Bi}_6\text{O}_5(\text{OH})_3](\text{NO}_3)_5 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ (рис. 1, 2) и $[\text{Bi}_6\text{O}_7(\text{OH})_2](\text{NO}_3)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (рис. 1, 3). Основной нитрат висмута использовали квалификации «varistor grade» фирмы Vital Materials Co., LTD (Китай), который по результатам наших исследований соответствует составу тригидрата основного нитрата висмута $[\text{Bi}_6\text{O}_5(\text{OH})_3](\text{NO}_3)_5 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$. Получение моногидрата и дигидрата основных нитратов висмута составов $\text{Bi}_6\text{O}_4(\text{OH})_4(\text{NO}_3)_6 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (уравнение 1) и $[\text{Bi}_6\text{O}_7(\text{OH})_2](\text{NO}_3)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (уравнение 2) проводили путем добавления висмутосодержащего азотнокислого раствора к раствору карбоната аммония при температурах (60 ± 3) и (22 ± 2) °С, значениях pH смеси 1 и 8 соответственно.



Оксид висмута использовали фирмы НЕК, Германия (далее – Bi_2O_3 (I)), а также технический оксид висмута, полученный нами из металлического висмута марки Ви1. В результате его растворения в азотной кислоте получали растворы, содержащие 292,6 г/л висмута, из которых добавлением гидроксида натрия с концентрацией 5 моль/л до значения pH 12 осаждали Bi_2O_3 (II). Оба оксида, по данным РФА, представляют собой моноклинную модификацию $\alpha\text{-Bi}_2\text{O}_3$ (рис. 1, 4).

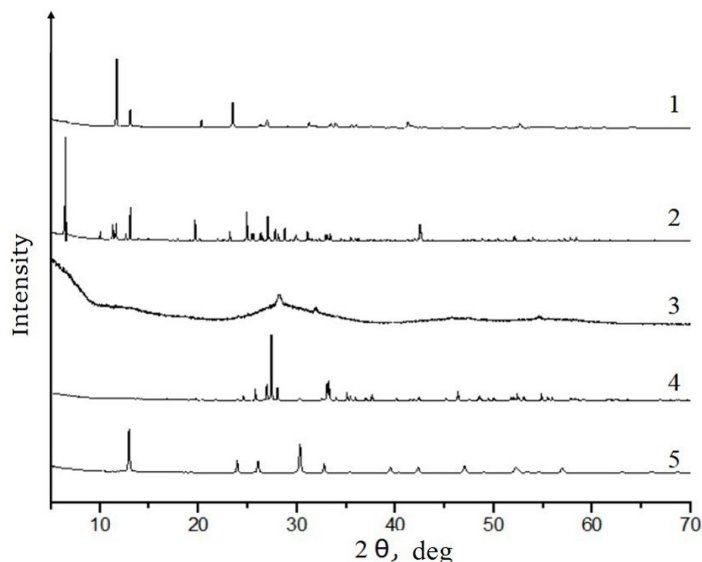


Рис. 1. Дифрактограммы $\text{Bi}_6\text{O}_4(\text{OH})_4(\text{NO}_3)_6 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (1); $[\text{Bi}_6\text{O}_5(\text{OH})_3](\text{NO}_3)_5 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ (2); $[\text{Bi}_6\text{O}_7(\text{OH})_2](\text{NO}_3)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (3); Bi_2O_3 (4); $(\text{BiO})_2\text{CO}_3$ (5)

Fig. 1. Diffraction patterns of $\text{Bi}_6\text{O}_4(\text{OH})_4(\text{NO}_3)_6 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (1); $[\text{Bi}_6\text{O}_5(\text{OH})_3](\text{NO}_3)_5 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ (2); $[\text{Bi}_6\text{O}_7(\text{OH})_2](\text{NO}_3)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (3); Bi_2O_3 (4); $(\text{BiO})_2\text{CO}_3$ (5)

Электронно-микроскопические исследования показали, что основной нитрат висмута состава $\text{Bi}_6\text{O}_4(\text{OH})_4(\text{NO}_3)_6 \cdot \text{H}_2\text{O}$ представляет собой сростки короткопризматических кристаллов с наибольшим размером в базисной плоскости 1–5 мкм и толщиной 1–3 мкм (рис. 2а). Образец $[\text{Bi}_6\text{O}_5(\text{OH})_3](\text{NO}_3)_5 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ морфологически представляет собой удлиненные плоскопризматические кристаллы с размерами в базисной плоскости 10–20 мкм и толщиной порядка 1–3 мкм (рис. 2б). Основной нитрат висмута состава $[\text{Bi}_6\text{O}_7(\text{OH})_2](\text{NO}_3)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ – агрегаты, состоящие из частиц размерами около 1 мкм (рис. 2в). Оксид висмута Bi_2O_3 (I) представляет собой частицы округлой формы, размером 1–5 мкм (рис. 2з), Bi_2O_3 (II) – игольчатые кристаллы длиной 5–10 мкм и толщиной не более 2 мкм (рис. 2д).

Получение основного карбоната висмута путем осаждения из азотнокислых растворов (уравнение 3) проводили при следующих условиях (табл. 1). Азотнокислый висмутсодержащий раствор добавляли при перемешивании к раствору карбоната аммония и перемешивали смесь в течение 30 мин.

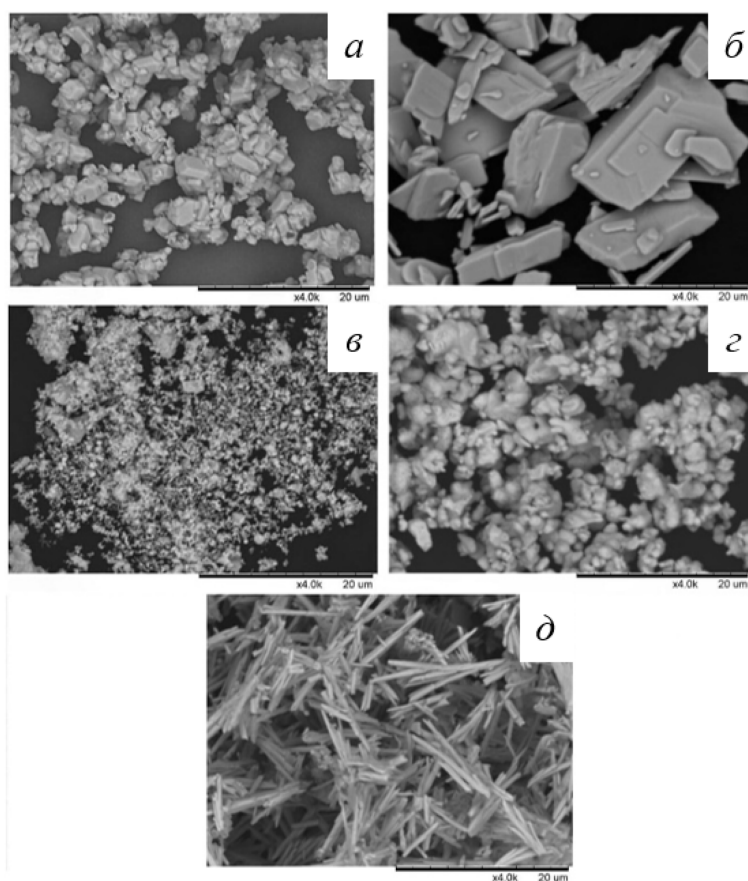


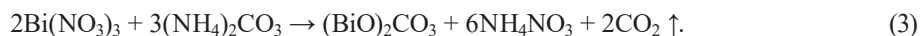
Рис. 2. Электронные микрофотографии образцов: $\text{Bi}_6\text{O}_4(\text{OH})_4(\text{NO}_3)_6 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (а); $[\text{Bi}_6\text{O}_5(\text{OH})_3](\text{NO}_3)_5 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ (б); $[\text{Bi}_6\text{O}_7(\text{OH})_2](\text{NO}_3)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (в); Bi_2O_3 «varistor grade» (г); Bi_2O_3 , полученного осаждением из азотнокислого раствора (д)

Fig. 2. Electron microphotographs of samples: $\text{Bi}_6\text{O}_4(\text{OH})_4(\text{NO}_3)_6 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (a); $[\text{Bi}_6\text{O}_5(\text{OH})_3](\text{NO}_3)_5 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ (b); $[\text{Bi}_6\text{O}_7(\text{OH})_2](\text{NO}_3)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (c); Bi_2O_3 , varistor grade (d); Bi_2O_3 obtained by precipitation from nitric acid solution (e)

Таблица 1. Условия проведения осаждения висмута из азотнокислых растворов

Table 1. Conditions for bismuth precipitation from nitric acid solutions

№ синтеза	$C_{p-ра} (NH_4)_2CO_3$, моль/л	$V_{Bi} \text{ в } HNO_3$, мл	[Bi] в исх. р-ре, г/л	τ , мин	T, °C	pH мат.	[Bi] в мат. р-ре, г/л
1	2,5	36	454.575	30	(22±2)	8.8	0,0044
2	0,5	423	38.67	30	(22±2)	7.2	0,0021
3	0,5	441	37.1	30	(60±3)	8.7	0,0022



Получение основного карбоната висмута путем осаждения из молочнокислых растворов (уравнения 4, 5) проводили при следующих условиях. Навеску 10 г оксида висмута Bi_2O_3 распульповывали в 50 мл раствора молочной кислоты с концентрацией 2 моль/л при температуре (60 ± 5) °C, полученную смесь прибавляли к раствору карбоната аммония с концентрацией 2,5 моль/л и перемешивали в течение 30 мин. Содержание висмута в маточнике составляло 0,0208 в случае Bi_2O_3 (I) и 0.017 г/л в случае Bi_2O_3 (II).



Получение основного карбоната висмута по реакциям взаимодействия основных нитратов висмута с раствором карбоната аммония (уравнения 6–8) проводили при условиях, приведенных в табл. 2. Навеску основного нитрата висмута обрабатывали при перемешивании и температуре (22 ± 2) °C раствором карбоната аммония с концентрацией 2.5 моль/л в течение 2 ч.

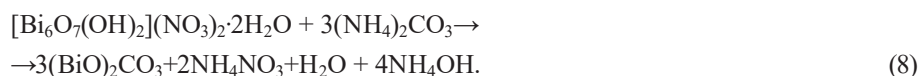
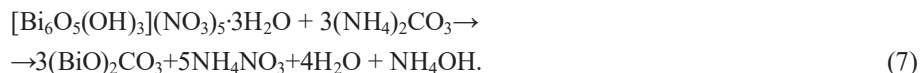
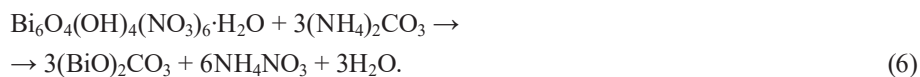


Таблица 2. Условия обработки основных нитратов висмута раствором карбоната аммония

Table 2. Conditions for the treatment of basic bismuth carbonates with ammonium carbonate solution

№ синтеза	Состав прекурсора	$m_{навески}$, г	T, °C	pH мат.	[Bi] в мат. р-ре, г/л
1	$Bi_6O_4(OH)_4(NO_3)_6 \cdot H_2O$	100	(45±5)	9.0	0,001
2	$[Bi_6O_5(OH)_3](NO_3)_5 \cdot 3H_2O$	100	(22±2)	8.7	0,0008
3	$[Bi_6O_7(OH)_2](NO_3)_2 \cdot 2H_2O$	45	(60±3)	8.5	0,0015

Все полученные продукты отфильтровывали, промывали дистиллированной водой при температуре (60 ± 5) °С и сушили на воздухе.

Результаты и обсуждение

По данным РФА полученные образцы основных карбонатов висмута идентичны и представляют собой соединение состава $(\text{BiO})_2\text{CO}_3$ (рис. 1, 5). Результаты морфологического анализа продуктов приведены на рис. 3 и в табл. 3. Данные электронной микроскопии показали, что во всех исследуемых образцах частицы собраны в агрегаты.

Результаты по осаждению основного карбоната висмута из азотнокислого раствора показали, что для получения продукта, удовлетворяющего требованиям зарубежных фармакопей по содержанию нитрат-ионов (не выше 0,4 %) [3], требуется двукратная его промывка дистиллированной водой. Основные карбонаты висмута, полученные другими способами, также удовлетворяют требованию по содержанию нитрат-ионов (табл. 4).

По данным работы [8], путем осаждения висмута из азотнокислых растворов можно получить основной карбонат висмута с высокой удельной поверхностью, но при этом необходимо использовать предварительно очищенные от примесных металлов азотнокислые растворы висмута. Полученные нами данные по величине удельной поверхности частиц образцов основного карбоната висмута свидетельствуют о том (табл. 5), что продукт, полученный путем осаждения из молочнокислых висмутсодержащих растворов, имеет наибольшее значение удельной поверхности, что позволяет предполагать высокую терапевтическую активность при использовании его в качестве фармацевтической субстанции.

Исследования гранулометрического состава полученных основных карбонатов висмута показали (табл. 5), что продукт, полученный осаждением из молочнокислых растворов, содержит частицы диаметром не более 28,6 мкм в количестве 94,6 %, что говорит о более мелком продукте, в свою очередь, для продукта осаждения из азотнокислых растворов результат составляет 89 %, а для продукта реакции взаимодействия моногидрата основного нитрата вис-

Таблица 3. Результаты электронной микроскопии образцов основного карбоната висмута

Table 3. Results of electron microscopic studies of basic bismuth carbonate samples

№ фото	Форма частиц	Размер частиц	
		длина, мкм	толщина, не более, мкм
а	сферические	1–2	1–2
б	пластинчатые	1–5	0,2
в	пластинчатые	5–10	0,2
г	пластинчатые	0,5–3	0,2
д	пластинчатые	0,5–3	0,2
е	пластинчатые	0,5–3	0,2
ж	сферические	0,5–1	0,5–1

Примечание: $(\text{BiO})_2\text{CO}_3$ получен: осаждением из азотно- (а, б, в) или молочнокислого (ж) раствора; обработкой прекурсоров составов $\text{Bi}_6\text{O}_4(\text{OH})_4(\text{NO}_3)_6 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (з), $[\text{Bi}_6\text{O}_5(\text{OH})_3](\text{NO}_3)_5 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ (д), $[\text{Bi}_6\text{O}_7(\text{OH})_2](\text{NO}_3)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (е) раствором карбоната аммония. Концентрация раствора карбоната аммония: 2,5 (а, з–ж), 0,5 (б, в) моль/л. Температура: 22 (а, б, з–ж), 60 (в) °С.

мута состава $\text{Bi}_6\text{O}_4(\text{OH})_4(\text{NO}_3)_6 \cdot \text{H}_2\text{O}$ с раствором карбоната аммония – 44,7 %. Данные гранулометрического анализа согласуются с данными электронной микроскопии, результатами по насыпной плотности и удельной поверхности продуктов.

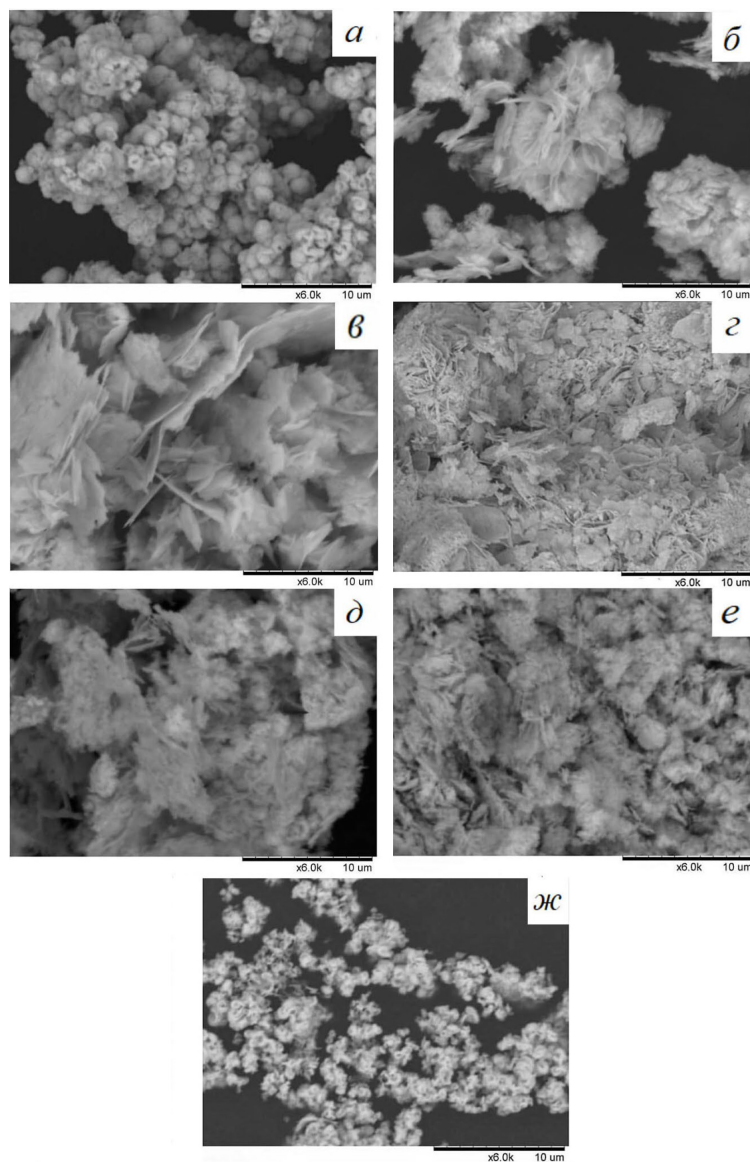


Рис. 3. Электронные микрофотографии $(\text{BiO})_2\text{CO}_3$, полученных: осаждением из азотно- (а, б, в) или молочнокислого (ж) раствора; обработкой прекурсоров составов $\text{Bi}_6\text{O}_4(\text{OH})_4(\text{NO}_3)_6 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (з), $[\text{Bi}_6\text{O}_5(\text{OH})_3](\text{NO}_3)_5 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ (д), $[\text{Bi}_6\text{O}_7(\text{OH})_2](\text{NO}_3)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (е) раствором карбоната аммония. Концентрация раствора карбоната аммония: 2,5 (а, з–ж), 0,5 (б, в) моль/л. Температура: 22 (а, б, з–ж), 60 (в) °С

Fig. 3. Electron microscopic microphotographs of $(\text{BiO})_2\text{CO}_3$ samples obtained by: precipitation from nitric (a, b, c) or lactic acid solution (g); by treatment of precursors $\text{Bi}_6\text{O}_4(\text{OH})_4(\text{NO}_3)_6 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (d), $[\text{Bi}_6\text{O}_5(\text{OH})_3](\text{NO}_3)_5 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ (e), $[\text{Bi}_6\text{O}_7(\text{OH})_2](\text{NO}_3)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (f) with ammonium carbonate solution. Concentration of ammonium carbonate solution: 2.5 (a, d–g), 0.5 (b, c) mol/L. Temperature: 22 (a, b, d–g), 60 (c) °C

Таблица 4. Результаты физико-химического анализа полученных образцов основного карбоната висмута

Table 4. Results of physicochemical analysis of the obtained samples of basic bismuth carbonate

№ образца	Исследуемый раствор	[NO ₃ ⁻] в продукте, %	Насыпная плотность, г/см ³	Удельная поверхность, м ² /г
а	мат. р-р	2.41	0,91	10,068
	1 промывка	0.25		
	2 промывка	0.155		
б	мат. р-р	2.04	0,58	9,159
	1 промывка	0.19		
	2 промывка	0.102		
в	мат. р-р	2.05	0,33	9,779
	1 промывка	0.175		
	2 промывка	0.101		
г	мат. р-р	0.07	1,11	8,261
д	мат. р-р	1.39	1,2	10,998
	1 промывка	0.51		
	2 промывка	0.065		
е	мат. р-р	0.18	1,02	12,280
ж	мат. р-р	0.042	0,83	21,321

Примечание: (BiO)₂CO₃ получен: осаждением из азотно- (а, б, в) или молочнокислого (ж) раствора; обработкой прекурсоров составов Bi₆O₄(OH)₄(NO₃)₆·H₂O (з), [Bi₆O₅(OH)₃](NO₃)₅·3H₂O (д), [Bi₆O₇(OH)₂](NO₃)₂·2H₂O (е) раствором карбоната аммония. Концентрация раствора карбоната аммония: 2,5 (а, з–ж), 0,5 (б, в) моль/л. Температура: 22 (а, б, з–ж), 60 (в) °С.

Таблица 5. Гранулометрический состав основных карбонатов висмута: размер частиц в%- ном содержании

Table 5. Granulometric composition of basic bismuth carbonate samples: particle size, percentage

Размер частиц, мкм	Весовая доля частиц, %		
	1	2	3
1,04	1	0,1	1,8
1,81	3,2	1,3	6,2
3,14	7,4	3,9	15,7
5,46	13,1	7,7	30,9
9,49	20,5	24,3	53,9
16,5	30,1	67	75,6
28,6	44,7	89	94,6
49,7	71,7	99,4	100
86,4	95,9	100	100
150	100	100	100

Примечание: (BiO)₂CO₃ получен: обработкой прекурсора состава Bi₆O₄(OH)₄(NO₃)₆·H₂O (1) раствором карбоната аммония, осаждением из азотно- (2) или молочнокислого (3) раствора.

С целью проверки влияния способа получения основного карбоната висмута осаждением его из молочнокислых растворов на степень очистки висмута от основных примесных металлов нами был получен технический Bi_2O_3 (II), содержащий (в %): меди – $4,6 \cdot 10^{-5}$, серебра – $2,982 \cdot 10^{-4}$, свинца – 0,427. Затем было проведено растворение полученного оксида висмута в молочной кислоте с концентрацией 2 моль/л с дальнейшим осаждением целевого продукта добавлением полученного висмутсодержащего молочнокислого раствора к раствору карбоната аммония. Получен основной карбонат висмута, содержащий (в %): меди – $4,23 \cdot 10^{-5}$, серебра – $2,115 \cdot 10^{-4}$, свинца – 0,37. Таким образом, показано, что данный способ не позволяет эффективно очищать получаемый продукт от примесных металлов и для его применения необходимо использовать оксид висмута квалификации не ниже «хч». При проведении аналогичного синтеза основного карбоната висмута из Bi_2O_3 (I), получен основной карбонат висмута, содержащий (в %): меди – $< 1,0 \cdot 10^{-5}$, серебра – $1,79 \cdot 10^{-4}$, свинца – $4,20 \cdot 10^{-5}$.

Заключение

Проведенное сравнение способов получения основного карбоната висмута состава $(\text{BiO})_2\text{CO}_3$ осаждением из азотно- и молочнокислых растворов, а также по реакции взаимодействия основных нитратов висмута с раствором карбоната аммония показало, что для получения продукта высокой чистоты по содержанию примесных металлов целесообразно предварительно осаждать висмут в виде моногидрата основного нитрата состава $\text{Bi}_6\text{O}_4(\text{OH})_4(\text{NO}_3)_6 \cdot \text{H}_2\text{O}$ и проводить его обработку раствором карбоната аммония. С целью получения основного карбоната висмута с удельной поверхностью порядка $20 \text{ м}^2/\text{г}$ целесообразно растворять оксид висмута высокой чистоты в растворе молочной кислоты и осаждать из него основной карбонат висмута добавлением раствора карбоната аммония.

Список литературы / References

- [1] Машковский М. Д. *Лекарственные средства*. 16-е изд., перераб., испр. и доп. М., Новая волна, 2019. 1216 [Mashkovsky MD. *Medicines*. 16th ed., revised, corrected. and additional. Moscow, New wave, 2019. 1216 (In Rus.)]
- [2] Briand G. G., Burford N. Bismuth Compounds and Preparations with Biological or Medicinal Relevance. *Chemical Reviews* 1999. 9(9), 2601–2957.
- [3] U.S.P. The national formulary: The United States pharmacopeia: USP 44. The national formulary: NF 35, [collection of standards], 2021.
- [4] Chen R., So M. H., Yang J., Deng F., Che C. M., Sun H. Fabrication of bismuth subcarbonate nanotube arrays from bismuth citrate. *Chemical Communications*, 2006, 2265–2267.
- [5] Tobon-Zapata G.E., Etcheverry S. B., Baran E. J. Vibrational spectrum of bismuth subcarbonate. *Journal of materials science letters* 1997. 16(8), 656–657.
- [6] *Химия. Большой энциклопедический словарь*. Гл. ред. И. Л. Кнунянц. М., Большая Российская энциклопедия, 2000. 792 [Chemistry. *Big encyclopedic dictionary*. Ch. ed. IL Knunyants. Moscow, Great Russian Encyclopedia, 2000. 792. (In Rus.)]
- [7] Бусев А. И. *Аналитическая химия висмута*. М., Изд-во АН СССР, 1953. 382 [Busev A. I. *Analytical chemistry of bismuth*. Moscow, Publishing House of the Academy of Sciences of the USSR, 1953. 382 (In Rus.)]

[8] Мищенко К. В., Юхин Ю. М. Получение основного карбоната висмута (III) для медицины. *Химия в интересах устойчивого развития* 2013. 21(5), 513–517. [Mishchenko K. V., Yukhin Yu. M. Obtaining basic bismuth (III) carbonate for medicine. *Chemistry for sustainable development* 2013. 21(5), 513–517. (In Rus.)]

[9] ICPDS-International Center for Diffraction Data. 2011.

[10] Коростелев П. П. *Фотометрический и комплексометрический анализ в металлургии*. М., Металлургия, 1984. 272 [Korostelev P. P. *Photometric and complexometric analysis in metallurgy*. Moscow, Metallurgy, 1984. 272 (In Rus.)]

[11] ГОСТ 18826–73. Вода питьевая. Методы определения содержания нитратов. Межгосударственный стандарт. Москва: ИПК Издательство стандартов, 2003. [GOST 18826–73. Drinking water. Methods for determining the content of nitrates. Interstate standard. Moscow: IPK Standards Publishing House, 2003. (In Rus.)]

[12] Галачиев С. М., Макоева Л. М., Джиоев Ф. К., Хаева Л. Х. Возможности эндогенного образования нитрозаминов в желудочном соке in vitro. *Известия Самарского научного центра РАН* 2011. 13(1(7)), 1678–1680. [Galachiev S. M., Makoeva L. M., Dzhioev F. K., Khaeva L. Kh. Possibilities of endogenous formation of nitrosamines in gastric juice in vitro. *Izvestia RAS SamSC* 2011. 13(1(7)), 1678–1680. (In Rus.)]