

## ПЕРОКСИДНОЕ ОКИСЛЕНИЕ ТРИМЕТИЛСУРЬМЫ В ПРИСУТСТВИИ ПРОПЕНОВОЙ И 2-МЕТИЛПРОПЕНОВОЙ КИСЛОТ

**А.В. Гущин, Е.А. Лаханина, П.В. Андреев**

*Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, г. Нижний Новгород, Россия*

В результате взаимодействия триметилсурьмы и 2-метилпропеновой кислоты в присутствии гидропероксида третичного бутила получен бис(2-метилпропеноат) триметилсурьмы  $\text{Me}_3\text{Sb}(\text{O}_2\text{CMe}=\text{CH}_2)_2$ , который подтвержден данными элементного анализа, ИК,  $^1\text{H}$  и  $^{13}\text{C}$ -ЯМР спектроскопии, хромато-масс-спектрометрии. Выход продукта 50 %, кроме этого получается полимер данного соединения. В случае замены 2-метилпропеновой кислоты на пропеную образуется только полимерный пропеноат триметилсурьмы.

*Ключевые слова:* триметилсурьма, трет-бутилгидропероксид, 2-метилпропеновая кислота, пропеновая кислота, бис(2-метилпропеноат) триметилсурьмы.

### Введение

В настоящее время перспективной и быстро развивающейся областью химии является химия полимеров, содержащих металл, в том числе сурьму [1, 2]. Проводятся исследования таких полимеров в отношении их термоокислительной стабильности, биологических свойств, в том числе антимикробных. Некоторые известные сополимеры различных ненасыщенных соединений сурьмы с органическими мономерами, ранее использованных для синтеза металлосодержащих полимеров (в том числе органических стекол), проявляют фунгицидную и биоцидную активность, рентгенозащитные свойства [3, 4]. В связи с этим получение новых сурьмасодержащих органических соединений с непредельными кислотами для использования в качестве сомономеров синтеза полиметилметакрилата является актуальным.

Целью данной работы являлись синтез нового сурьмаорганического соединения – бис(2-метилпропеноата) триметилсурьмы и исследование его молекулярной кристаллической структуры.

### Экспериментальная часть

**Реакцию триметилсурьмы и 2-метилпропеновой кислоты в присутствии гидропероксида третичного бутила** проводили в дегазированной ампуле в растворителе толуоле. К 10 мл дегазированного толуольного раствора, содержащего 0,588 г (6,2 ммоль) гидропероксида третичного бутила с массовой долей основного вещества 97,7 % и 1,092 г (12,7 ммоль) метакриловой кислоты, намораживали 1,031 г (6,2 ммоль) триметилсурьмы. Смесь выдерживали 24 ч при комнатной температуре. Откачав растворитель в ловушку, охлаждаемую жидким азотом, получили белые кристаллы, которые перекристаллизовали из петролейного эфира. Очищенное соединение имеет т. пл. 50 °С.

**ИК спектры изучали в таблетке** KBr с содержанием исследуемого соединения 1 % на спектрофотометре Shimadzu IR Prestige-21, Япония.

**ЯМР спектры** изучали в  $\text{CDCl}_3$  на спектрометре Ajilent DD2 400, США. Расшифровка и моделирование спектров проведены с использованием программы MestReNova (демонстрационная версия).

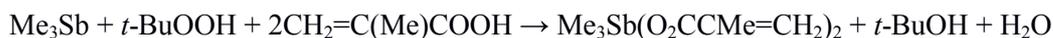
**Элементный анализ** проводили методом экспресс-гравиметрии на установке пиролитического сжигания вещества в кварцевой пробирке в токе кислорода.

**Рентгеноструктурный анализ** кристаллов бис(2-метилпропеноата) триметилсурьмы проводился при комнатной температуре  $T = 298(2)$  К на автоматическом рентгеновском дифрактометре Rigaku XTA Lab Pro с  $\kappa$ -гониометром ( $\text{MoK}_\alpha$  излучение) и гибридным детектором Pilatus 200K. Монокристаллы бис(2-метилпропеноата) триметилсурьмы выращивали при комнатной температуре из воды.

**Хромато-масс-спектр** бис(2-метилпропеноата) трифенилсурьмы снят на времяпролетном хромато-масс-спектрометре DSQ/Trace GC Ultra фирмы Thermo Scientific Corp., США. Образец вносился методом прямого ввода. Регистрировались масс-спектры положительных ионов при энергии ионизирующих электронов 70 эВ в диапазоне массовых чисел 35–500. Идентификация компонентов проводилась с помощью библиотеки масс-спектров NIST 2005.

### Обсуждение результатов

Бис(2-метилпропеноат) получали окислительным присоединением гидропероксида третичного бутила к триметилсурьме с участием 2-метилпропеновой кислоты:



Ранее данным способом получали исключительно арильные производные сурьмы с непредельными кислотами [5–7]. Для алкильных соединений сурьмы такой метод применялся только в синтезе производных предельных кислот, таких как диацетат, диформиат и дибензоат триметилсурьмы [8, 9]. Выходы данных соединений не превышали 75 %, а т. пл. для диацетата и диформиата находятся в диапазоне 80–81 °С, для дибензоата т. пл. 160 °С. Все данные вещества хорошо растворяются в органических растворителях (хлороформ, бензол, ацетон), за исключением гексана и пентана. Диформиат и диацетат триметилсурьмы растворяются в воде [10].

ИК спектр бис(2-метилпропеноата) триметилсурьмы содержит полосу поглощения средней интенсивности при 563 см<sup>-1</sup>, соответствующую валентным колебаниям связи Sb-C, полоса поглощения 627 см<sup>-1</sup> относится к валентным колебаниям связи Sb-O. Сигналы высокой интенсивности с максимумами 1614 см<sup>-1</sup> и 1328 см<sup>-1</sup> относятся соответственно к антисимметричным и симметричным валентным колебаниям COO-группы [11]. Полоса поглощения с максимумом 1653 см<sup>-1</sup> соответствует валентным колебаниям терминальной кратной C=C связи 2-метилпропеноатного фрагмента, а сигнал в области 2928–3098 см<sup>-1</sup> принадлежит валентным колебаниям C-H связей метильной группы 2-метилпропеноатного фрагмента. Аналогичные колебания наблюдались в ранее полученных диацетате, диформиате и дибензоате триметилсурьмы: полоса поглощения, соответствующая валентным колебаниям связи Sb-C, имеет волновые числа 565 см<sup>-1</sup>, 565 см<sup>-1</sup>, 560 см<sup>-1</sup> соответственно. Полосы высокой интенсивности с максимумами 1625 см<sup>-1</sup> и 1360 см<sup>-1</sup>, 1620 см<sup>-1</sup> и 1365 см<sup>-1</sup>, 1620 см<sup>-1</sup> и 1390 см<sup>-1</sup> относятся соответственно к антисимметричным и симметричным валентным колебаниям COO-группы в указанных трех карбоксилатах триметилсурьмы [8].

Полученные данные элементного анализа бис(2-метилпропеноата) триметилсурьмы хорошо согласуются с расчетными значениями. Найдено, %: С 38,97; Н 5,58; C<sub>11</sub>H<sub>19</sub>O<sub>4</sub>Sb. Вычислено, %: С 39,17; Н 5,64.

В спектре <sup>1</sup>H ЯМР бис(2-метилпропеноата) триметилсурьмы в области сильного поля обнаружены синглетные сигналы протонов метильной группы от 2-метилпропеноатного остатка (6H, δ = 1,86 м. д.) и метильных групп у атома сурьмы (9H, δ = 1,90 м. д.); в области среднего поля находятся синглеты протонов терминальных CH<sub>2</sub>-групп двойных связей (δ = 5,41 м. д. и δ = 5,92 м. д.). Указанные значения сигналов протонов карбоксилатной группы близки известным данным для бис(2-метилпропеноата) трифенилсурьмы (6H, δ = 1,78 м. д., CH<sub>2</sub> δ = 5,35 и 5,93 м. д. соответственно) [12].

В <sup>13</sup>C ЯМР спектре бис(2-метилпропеноата) триметилсурьмы найден сигнал метильных атомов углерода во фрагменте Me<sub>3</sub>Sb (δ = 11,20 м. д.); сигнал метильных атомов углерода в 2-метилпропеноатных группах (δ = 18,70 м. д.); сигнал вторичных атомов углерода при двойной связи (δ = 123,69 м. д.); сигнал четвертичных атомов углерода при двойной связи (δ = 138,86 м. д.); сигнал атомов углерода карбоксильной группы (δ = 171,85 м. д.).

Хромато-масс-спектр бис(2-метилпропеноата) триметилсурьмы, снятый методом прямого ввода, не содержит пики молекулярного иона с массовыми числами 337 и 339, что вызвано нестабильностью этого иона. Однако в спектре присутствуют ожидаемые осколочные ионы с высокой интенсивностью сигналов [Me<sub>3</sub><sup>121</sup>Sb(O<sub>2</sub>CCMe=CH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>]<sup>+</sup> (M = 251), [Me<sub>3</sub><sup>123</sup>Sb(O<sub>2</sub>CCMe=CH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>]<sup>+</sup> (M = 253) и [Me<sub>2</sub><sup>121</sup>Sb(O<sub>2</sub>CCMe=CH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>]<sup>+</sup> (M = 321), [Me<sub>2</sub><sup>123</sup>Sb(O<sub>2</sub>CCMe=CH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>]<sup>+</sup> (M = 323), образованные за счет отщепления от молекулярного иона одной метильной и одной 2-метилпропеноатной групп соответственно.

Полученные в ходе перекристаллизации бис(2-метилпропеноата) триметилсурьмы монокристаллы были использованы для исследования структуры рентгенодифракционным методом при комнатной температуре. Кристаллографические характеристики, параметры рентгеноструктурных экспериментов и уточнения структур приведены в табл. 1. Полные таблицы координат атомов, длин связей и валентных углов депонированы в Кембриджском банке структурных данных (№ 1540992, <http://www.ccdc.cam.ac.uk>).

Таблица 1

Кристаллографические данные, параметры эксперимента и уточнения структуры кристалла

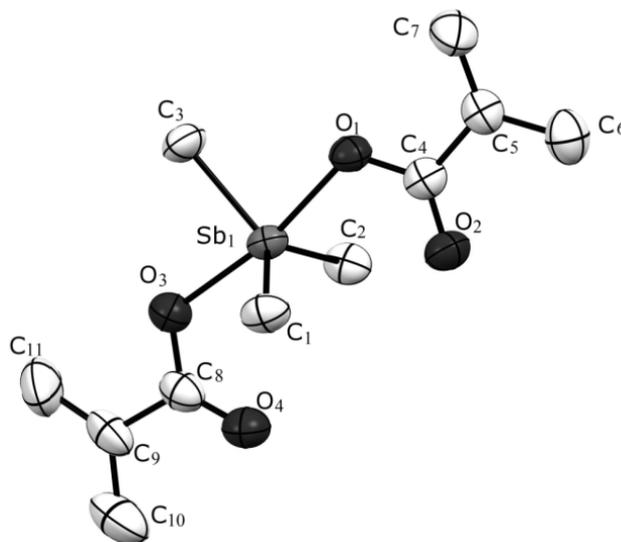
Параметр	Значение
Формула	C <sub>11</sub> H <sub>19</sub> O <sub>4</sub> Sb
<i>M</i>	337,01
Сингония	ромбическая
Пространственная группа	<i>Pbca</i>
<i>a</i> , Å	11,4957(6)
<i>b</i> , Å	11,2958(5)
<i>c</i> , Å	23,1181(14)
$\alpha$ , град.	90
$\beta$ , град.	90
$\gamma$ , град.	90
<i>V</i> , Å <sup>3</sup>	3002.0(3)
<i>Z</i>	8
<i>d</i> <sub>(выч.)</sub> , г/см <sup>3</sup>	1,491
$\mu$ , мм <sup>-1</sup>	1,836
<i>F</i> (000)	1344
Размер кристалла, мм	0,404 × 0,319 × 0,264
Область сбора данных по 2 $\theta$ , град.	7 – 52,6
Интервалы индексов отражений	-14 ≤ <i>h</i> ≤ 14 -14 ≤ <i>k</i> ≤ 14 -28 ≤ <i>l</i> ≤ 28
Измерено отражений	41778
Независимых отражений	3065
<i>R</i> <sub>int</sub>	0,0405
Переменных уточнения	150
GOOF	1,207
<i>R</i> -Факторы по <i>F</i> <sup>2</sup> > 2 $\sigma$ ( <i>F</i> <sup>2</sup> )	<i>R</i> <sub>1</sub> =0,0348 <i>wR</i> <sub>1</sub> =0,0742
<i>R</i> -Факторы по всем отражениям	<i>R</i> <sub>1</sub> =0,0432 <i>wR</i> <sub>1</sub> =0,0784
Остаточная электронная плотность (min/max), е/Å <sup>3</sup>	-0,597/0,646

Согласно полученным данным, 2-метилпропеноатные группы находятся в аксиальных положениях искаженного октаэдра, аксиальный угол O<sup>1</sup>-Sb<sup>1</sup>-O<sup>3</sup> 169,57° достаточно близок к идеальному значению 180°. Метильные группы располагаются в экваториальных положениях. Сумма углов C(*Me*)SbC(*Me*) в экваториальной плоскости составляет 360° (см. рисунок).

Атомы O<sup>1</sup>, O<sup>2</sup>, C<sup>4</sup>-C<sup>7</sup> 2-метилпропеноатной группы лежат в одной плоскости, все углы близки к 120°, что подтверждает участие всех атомов углерода и кислорода 2-метилпропеноатной группы в образовании единой сопряженной системы *p*-электронов. Длина связи C<sup>5</sup>-C<sup>6</sup> имеет значение 1,434(6) Å. Расстояния Sb...O<sup>1</sup> и Sb...O<sup>3</sup> равны 2,116(3) и 2,115(3) Å, что близко к сумме ковалентных радиусов атомов Sb и O (2,14 Å [12]). Кроме этих ковалентных связей обнаружены внутримолекулярные контакты между атомом сурьмы и атомами кислорода карбонильной группы Sb<sup>1</sup>...O<sup>2</sup> и Sb<sup>1</sup>...O<sup>4</sup>, расстояния их составляют 3,062(3) и 3,111(3) Å соответственно, что намного больше расстояний ковалентных связей Sb...O<sup>1</sup> и Sb...O<sup>3</sup>, но существенно меньше суммы Ван-дер-ваальсовых радиусов атомов O и Sb (3,7 Å) [12]. Это указывает на наличие слабых координационных связей атома металла с неподеленными парами электронов карбонильных атомов кислорода и позволяет говорить о расширении координационного числа сурьмы. Координационное взаимодействие атомов Sb<sup>1</sup>...O<sup>2</sup> и Sb<sup>1</sup>...O<sup>4</sup> приводит к увеличению

## Химия элементоорганических соединений

экваториального угла  $C^1-Sb^1-C^2$  (со стороны контакта) до  $124,60(17)^\circ$  и уменьшению величин углов  $C^2-Sb^1-C^3$  и  $C^3-Sb^1-C^1$  до  $116,87(19)^\circ$  и  $118,53(18)^\circ$  соответственно по сравнению с идеальным значением в  $120^\circ$  (табл. 2).



Геометрия молекулы бис(2-метилпропеноата) триметилсурьмы в кристалле

Таблица 2

Длины связей ( $d$ ) и валентные углы ( $\omega$ ) в молекуле бис(2-метилпропеноата) триметилсурьмы

Связь	$d$ , Å	Угол	$\omega$ , град
$Sb^1-O^1$	2,116(3)	$O^3-C^8-O^4$	123,2(4)
$Sb^1-O^3$	2,115(3)	$O^3-C^8-C^9$	113,8(5)
$Sb^1-O^2$	3,062(3)	$O^4-C^8-C^9$	123,0(5)
$Sb^1-O^4$	3,111(3)	$C^8-C^9-C^{10}$	115,1(6)
$O^3-C^8$	1,304(5)	$C^{10}-C^9-C^{11}$	124,8(6)
$O^4-C^8$	1,215(6)	$C^8-C^9-C^{11}$	120,1(5)
$C^8-C^9$	1,501(7)	$O^1-C^4-O^2$	122,7(4)
$C^9-C^{11}$	1,388(8)	$O^1-C^4-C^5$	115,3(4)
$C^9-C^{10}$	1,398(8)	$O^2-C^4-C^5$	122,1(4)
$C^5-C^7$	1,358(7)	$C^4-C^5-C^6$	115,8(4)
$C^5-C^6$	1,433(7)	$C^6-C^5-C^7$	124,2(5)
$C^4-C^5$	1,497(6)	$C^4-C^5-C^7$	120,0(5)
$O^2-C^4$	1,218(5)	$C^1-Sb^1-C^2$	124,60(17)
$O^1-C^4$	1,300(5)	$C^3-Sb^1-C^1$	118,53(18)
		$C^2-Sb^1-C^3$	116,87(19)

Нами показано отсутствие тесных межмолекулярных контактов двойных связей  $C=C$  ненасыщенных 2-метилпропеноатных фрагментов соседних молекул друг с другом (эти расстояния превышают 5 Å). Следовательно, данное соединение отличается от бис(2-метилпропеноата) трифенилсурьмы, имеющего более короткие соответствующие контакты двойных связей 3,67 Å [5], что может обеспечить возможность полимеризации вещества при нагревании кристалла.

Для характеристики способа координации атома Sb карбоксилатными лигандами может быть использована разница полос поглощения симметричных и антисимметричных валентных колебаний группы COO в ИК спектре:  $\Delta\nu = \nu_{as} - \nu_s$ . Для бис(2-метилпропеноата) триметилсурьмы  $\Delta\nu$  составляет  $286\text{ см}^{-1}$ . Согласно [13], это отвечает монодентатному связыванию.

Были предприняты различные попытки увеличения выхода мономерного бис(2-метилпропеноата) триметилсурьмы. В частности заменили растворитель бензол на более

активный в радикальных реакциях толуол, а также увеличили степень освобождения реагентов и атмосферы от остатков воздуха (поддерживали давление в системе 0,13–0,2 мм рт. ст.). Однако данные манипуляции также не привели к увеличению выхода бис(2-метилпропеноата) триметилсурьмы и избавлению от побочной реакции полимеризации. Проведенный СН-анализ полимерного соединения показал, что помимо полимерного бис(2-метилпропеноата) триметилсурьмы присутствует 2-метилпропеновая кислота в качестве примеси. Найдено, %: С 40,75–40,81; Н 5,74–5,76; вычислено, %: С 55,81; Н 6,98;  $(C_4H_6O_2)_n$ ; С 39,17; Н 5,64;  $(C_{11}H_{19}O_4Sb)_n$ .

Были предприняты попытки синтезировать бис(пропеноат) триметилсурьмы. Реакцию проводили в бензоле по методике, приведенной ниже для синтеза производного 2-метилпропеновой кислоты, в результате мономерный дипропеноат триметилсурьмы не выделен, получился только его полимер. Данный результат соответствует известной большей активности пропеновой кислоты и ее эфиров в реакции полимеризации по сравнению с пространственно более затрудненной 2-метилпропеновой кислотой.

### Выводы

Впервые осуществлен синтез бис(2-метилпропеноата) триметилсурьмы, подтвержден состав продукта данными элементного анализа, ИК,  $^1H$  и  $^{13}C$  ЯМР спектроскопии, масс-спектрометрии, изучено молекулярное кристаллическое строение вещества методом РСА. Установлено, что выход мономерного бис(2-метилпропеноата) триметилсурьмы не удастся повысить больше 50 % из-за протекающего одновременно процесса полимеризации продукта. В случае замены 2-метилпропеновой кислоты на пропеновую образуется только полимерный дипропеноат триметилсурьмы.

### Литература

1. Naka, K. Ring-Collapsed Radical Alternating Copolymerization of Phenyl-Substituted Cyclooligostibine and Acetylenic Compounds / K. Naka, A. Nakahashi, Y. Chujo // *Macromolecules*. – 2006. – V 39, no. 24. – P. 8257–8262. DOI: 10.1021/ma061220l.
2. Naka, K. Periodic Terpolymerization of Cyclooligoarsine, Cyclooligostibine, and Acetylenic Compound / K. Naka, A. Nakahashi, Y. Chujo // *Macromolecules*. – 2007. – V. 40, no. 5. – P. 1372–1376. DOI: 10.1021/ma0622332.
3. Котон, М.М. Металлоорганические соединения и радикалы / М.М. Котон. – М.: Наука, 1985. – С. 13.
4. Карраер, Ч. Металлоорганические полимеры / Ч. Карраер, Дж. Шитс, Ч. Питтмен. – М.: Мир, 1981. – 352 с.
5. Synthesis and Structure of Triphenylantimony Dimethacrylate / A.V. Gushchin, D.V. Shashkin, L.K. Prytkova et al. // *Rus. J. General Chem.* – 2011. – V. 81, no. 3. – P. 397–400. DOI: 10.1134/S107036321103008X.
6. Гущин, А.В. Получение органических производных сурьмы(V), висмута(V) и применение их в органическом синтезе: дис. ... д-ра хим. наук / А.В. Гущин. – Н. Новгород, 1998. – 283 с.
7. Диакрилаты трифенилвисмута и трифенилсурьмы в синтезе металлосодержащего полиметилметакрилата / В.А. Додонов, А.В. Гущин, Ю.Л. Кузнецова, В.А. Моругова // *Вестник ННГУ. Серия химия*. – 2004. – Вып. 1(4). – С. 86–94.
8. Додонов, В.А. Одностадийный окислительный синтез диацилатов триметилсурьмы (V) / В.А. Додонов, А.В. Гущин, О.Г. Воробьев, Т.И. Зиновьева // *Изв. АН. Сер. хим.* – 1994. – Т. 3. – С. 537–538.
9. Syntheses of Antimony(V) Derivatives from Trimethyl and Triphenylantimony(III), Dihydric Phenols, and *tert*-Butyl Hydroperoxide / V.A. Dodonov, A.Yu. Fedorov, R.I. Usyatinsky et. al // *Russian Chemical Bulletin*. – 1995. – V. 44, no. 4. – P. 730-733.
10. Усятинский, Р.И. Синтез, строение и реакционная способность некоторых метильных и этильных производных сурьмы(V): автореф. дис. ... канд. хим. наук / Р.И. Усятинский. – Н. Новгород, 1997. – 21 с.
11. Казицына, Л.А. Применение УФ-, ИК- и ЯМР-спектроскопии в органической химии / Л.А. Казицына, Н.Б. Куплетская. – М.: Высшая школа, 1971. – 264 с.

12. Бачанов, С.С. Атомные радиусы элементов / С.С. Бачанов // ЖНХ. – 1991. – Т. 36. – Вып. 12. – С. 3015–3037.

13. Kumar, I. Facile One-Pot Synthesis of Triphenylbismuth(V) Bis(carboxylate) Complexes / I. Kumar, P. Bhattacharya, K.H. Whitmire // Organometallics. – 2014. – V. 33, no 11. – P. 2906. DOI: 10.1021/om500337z.

**Гущин Алексей Владимирович** – доктор химических наук, профессор, профессор кафедры органической химии, Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского. 603950, г. Н. Новгород, пр. Гагарина, 23. E-mail: gushchin4@yandex.ru

**Лакханина Елизавета Андреевна** – магистр химического факультета, Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, 603950, г. Н. Новгород, пр. Гагарина, 23. E-mail: liza-lakhanina@mail.ru

**Андреев Павел Валерьевич** – ассистент физического факультета, Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, 603950, г. Н. Новгород, пр. Гагарина, 23. E-mail: Andreev@phys.unn.ru

*Поступила в редакцию 15 сентября 2017 г.*

---

DOI: 10.14529/chem170411

## PEROXIDE OXIDATION OF TRIMETHYLANTIMONY IN THE PRESENCE OF PROPENOIC AND 2-METHYLPROPENOIC ACIDS

**A.V. Gushchin**, gushchin4@yandex.ru

**E.A. Lakhanina**, liza-lakhanina@mail.ru

**P.V. Andreev**, Andreev@phys.unn.ru

*Lobachevsky State University of Nizhni Novgorod, Nizhny Novgorod, Russian Federation*

Trimethylantimony bis(2-methylpropenoate)  $\text{Me}_3\text{Sb}(\text{O}_2\text{CCMe}=\text{CH}_2)_2$  was obtained as a result of the reaction of trimethylantimony and 2-methylpropenoic acid in the presence of tertiary butyl hydroperoxide, which was confirmed by data of elemental analysis, as well as IR,  $^1\text{H}$  and  $^{13}\text{C}$ -NMR spectroscopy and chromatography-mass spectrometry. The yield of the product was 50%, in addition, the compound polymer was obtained. In the case of replacing 2-methylpropenoic acid with propenoic acid, only polymeric trimethylantimony propenoate was formed.

*Keywords: trimethylantimony, tert-butylhydroperoxide, 2-methylpropenoic acid, propenoic acid, bis (2-methylpropenoate) of trimethylantimony.*

### References

1. Naka K., Nakahashi A., Chujo Y. Ring-Collapsed Radical Alternating Copolymerization of Phenyl-Substituted Cyclooligostibine and Acetylenic Compounds. *Macromolecules*, 2006, vol. 39, no. 24, pp. 8257–8262. DOI: 10.1021/ma061220l

2. Naka K., Nakahashi A., Chujo Y. Periodic Terpolymerization of Cyclooligoarsine, Cyclooligostibine, and Acetylenic Compound. *Macromolecules*, 2007, vol. 40, no. 5, pp. 1372–1376. DOI: 10.1021/ma0622332.

3. Coton M.M. *Metalloorganicheskie Soedineniya i Radikaly* [Organometallic Compounds and Radicals]. Moscow, Nauka Publ., 1985. 13 p.

4. Carrer C., Sheets J., Pittman C. *Metalloorganicheskie polimery* [Organometallic Polymers]. Moscow, Mir Publ., 1981. 352 p.

5. Gushchin A.V., Shashkin D.V., Prytkova L.K., Somov N.V., Baranov E.V., Shavyrin A.S., Rykalin V.I. [Synthesis and Structure of Triphenylantimony Dimethacrylate]. *Rus. J. General Chem.*, 2011, vol. 81, no. 3, pp. 397–400. DOI: 10.1134/S107036321103008X
6. Gushchin A.V. *Poluchenie organicheskikh proizvodnykh sur'my(V), vismuta(V) i primeneniye ikh v organicheskoy sinteze*. Dis. dokt. khim. nauk [Preparation of Organic Derivatives of Antimony (V), Bismuth (V) and Their Use in Organic Synthesis. Diss. Doct.]. N. Novgorod, 1998. 48 p.
7. Dodonov V.A., Gushchin A.V., Kuznetsova J.L., Morugova V.A. Diacrylates of Triphenylbismuth and Triphenylantimony in the Synthesis of Metal-Containing Polymethylmethacrylate [Diakrilaty Trifenilvismuta i Trifenilsur'my v Sinteze Metallosoderzhashchego Polimetilmetakrilata]. *Vestnik of Lobachevsky State University of Nizhni Novgorod. Ser. Chemistry*, 2004. vol. 1, no. 4, pp. 86–94.
8. Dodonov V.A., Gushchin A.V., Vorobyov O.G., Zinovieva T.I. One-Stage Oxidative Synthesis of Trimethylantimony Diacrylates (V) [Odnostadijnyj Okislitel'nyj Sintez Diacilatov Trimetilsur'my(V)]. *Russian Chemical Bulletin*, 1994, vol. 43, no. 3, pp. 497–498.
9. Dodonov V.A., Fedorov A.Yu., Usyatinsky R.I., Ziburdaeva S.N., Gushchin A.V. [Syntheses of Antimony(V) Derivatives from Trimethyl and Triphenylantimony(III), Dihydric Phenols, and *tert*-Butyl Hydroperoxide]. *Russian Chemical Bulletin*, 1995, vol. 44, no. 4, pp. 730–733.
10. Usyatinsky R.I. *Sintez, stroeniye i reaktivnost' nekotorykh metil'nykh i etil'nykh proizvodnykh sur'my(V)*. Avtoref. kand. diss. [Synthesis, Structure and Reactivity of Certain Methyl and Ethyl Derivatives of Antimony(V). Abstract of kand. dis.]. N. Novgorod, 1997. 21 p.
11. Kazitsyna L.A., Kupletskaya N.B. *Primeneniye UF-, IK- i YaMR-spektroskopii v organicheskoy khimii* [Application of UV, IR and NMR Spectroscopy in Organic Chemistry]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1971. 264 p.
12. Batsanov S.S. [Atomic Radii of Elements]. *Russian Journal of Inorganic Chemistry*, 1991, vol. 36, no. 12, pp. 3015–3037.
13. Kumar I., Bhattacharya P., Whitmire K.H. Facile One-Pot Synthesis of Triphenylbismuth(V) Bis(carboxylate) Complexes. *Organometallics*, 2014, vol. 33, no. 11, p. 2906. DOI: 10.1021/om500337z

Received 15 September 2017

---

**ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ**

Гущин, А.В. Пероксидное окисление триметилсурьмы в присутствии пропеновой и 2-метилпропеновой кислот / А.В. Гущин, Е.А. Лаханина, П.В. Андреев // Вестник ЮУрГУ. Серия «Химия». – 2017. – Т. 9, № 4. – С. 67–73. DOI: 10.14529/chem170411

**FOR CITATION**

Gushchin A.V., Lakhanina E.A., Andreev P.V. Peroxide Oxidation of Trimethylantimony in the Presence of Propenoic and 2-Methylpropenoic Acids. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Chemistry*. 2017, vol. 9, no. 4, pp. 67–73. (in Russ.). DOI: 10.14529/chem170411

---