

- Томского политехнического университета. – 2008. – Т. 313. – № 3. – С. 59–65.
5. Вайсбергер А., Проскауэр Д. Органические растворители. – М.: Изд-во иностр. лит-ры, 1958. – 584 с.
 6. Ионова Е.И., Ляпков А.А., Бондалетов В.Г., Романова А.А. Полимеризация дициклопентадиена под действием тетрахлорида титана. // Известия Томского политехнического университета. – 2009. – Т. 314. – № 3. – С. 106–111.
 7. Кузнецов Н.Н., Ионова Е.И., Ляпков А.А., Бондалетов В.Г., Мананкова А.А. Полимеризация дициклопентадиена под действием каталитических систем на основе $TiCl_4$ // Химическая промышленность. – 2009. – № 7. – С. 367–369.
 8. Дьячковский Ф.С., Ерищан М.Л., Каширенинов О.Е., Матиска Б., Мах К., Швестка М., Шилов А.Е. Исследование природы активных центров в каталитических системах $TiCl_4+AlR_2Cl$ // Высокомолекулярные соединения. – 1969. – Т. А9. – № 3. – С. 543–547.

Поступила 24.02.2011 г.

УДК 547.281;547.284;547.572

СИНТЕЗ 4-ИОД- И 4-ИОДОЗИЛБЕНЗОЛСУЛЬФОКИСЛОТЫ

М.С. Юсубов^{1,2}, А.С. Галактионова¹, Е.Н. Тверякова¹, И.А. Передерина¹, Л.А. Дрыгунова¹, М.В. Зыкова¹,
М.С. Ларькина¹, Г.А. Жолобова¹, А.П. Корж¹, А.В. Смоляков¹, Т.В. Функ^{1,2}, Ю.Ю. Мирошниченко²

¹Сибирский государственный медицинский университет, г. Томск

E-mail: yusubov@mail.ru

²Томский политехнический университет

Предложены способы получения 4-иодбензолсульфокислоты и 4-иодозилбензолсульфокислоты как реагента, способного к рециклу. На примере окисления вторичных спиртов до кетонов и α -метоксилирования кетонов показаны препаративные возможности этого соединения поливалентного иода.

Ключевые слова:

Сульфирование, 4-иодозобензолсульфокислота, поливалентный иод, окисление, метоксилирование.

Key words:

Sulfonation, 4-iodosylbenzenesulfonic acid, hypervalent compounds oxidation, methoxylation.

Соединения поливалентного иода (СПИ) занимают ключевое место среди реагентов органического синтеза. Особенно впечатляющими являются трансформации с использованием органических соединения иода в III и V валентных состояниях. Уникальность данных реагентов заключается в том, что они участвуют в окислительных процессах с образованием С-С- и С-Х-связей, где Х=О, N, S, Se, F, Cl, Br, I и т. д. [1–11]. В практику органического синтеза внесены такие реагенты, как диацетокси-иодобензол или фенилиодозоацетат – $PhI(OAc)_2$, фенилиодозотрифторацетат – $PhI(OCOCF_3)_2$, дихлороиодобензол или фенилиодозодихлорид – $PhICl_2$, фенил- или толилиодозодифторид – $PhIF_2$ и $4-CH_3C_6H_4IF_2$, иодозобензол, реагенты Косера, Зефирова, Десс–Мартина и т. п.

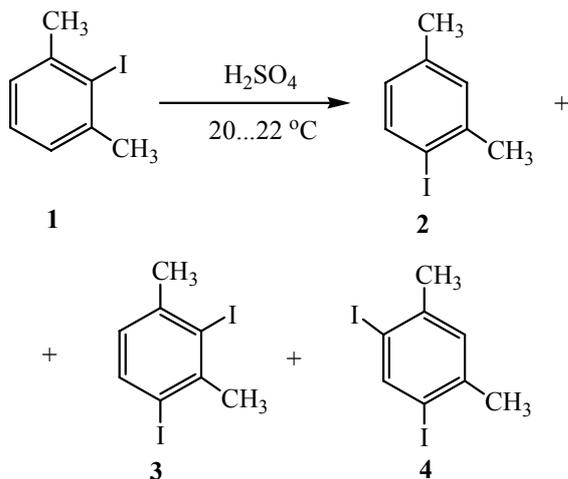
Так, например, индекс цитирования статьи [12] является высоким. Большой интерес органической химии к таким соединениям подтверждается тем, что только за последние 10 лет им посвящено более 45 обзоров и 10 монографий. Все это позволяет сделать вывод о том, что СПИ являются популярными реагентами органического синтеза. Одним из бурно развивающихся направлений в области химии СПИ является использование этих уникальных соединений как «зеленых» реагентов [13]. Такие соединения имеют преимущества, заключающиеся в возможности их к рециклу и легкости ре-

генерирования без потери активности. В рамках задачи по получению соединений поливалентного иода, способных к рециклу и возможности их применения в органическом синтезе в соответствии с принципами экологически чистой химии, была синтезирована 4-иодозобензолсульфокислота окислением 4-иодбензолсульфокислоты.

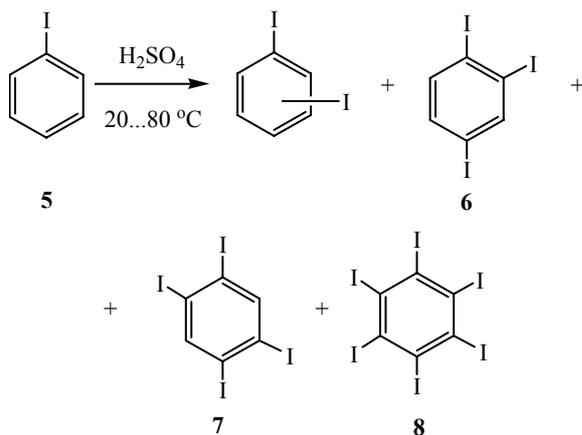
Интерес к иодбензолсульфокислотам вызван тем, что эти иодароматические соединения благодаря наличию сульфогруппы обладают ощутимой растворимостью в воде. Это обстоятельство позволяет проводить реакции с участием СПИ в водной среде или в водных растворах $NaHCO_3$. Нами была выбрана 4-иодбензолсульфокислота, синтез которой не требует использования малодоступных исходных субстратов и сложных химических процедур. Стоит отметить, что 4-иодбензолсульфокислота представляет и самостоятельный интерес как исходное соединение для синтеза пепсил хлорида, который широко применяется в биохимии для анализа аминокислот, стероидных гормонов [14].

Как известно, в отличие от большинства реакций электрофильного замещения, реакция сульфирования является обратимой, и это обстоятельство требует специального подбора условий для получения целевого продукта. Помимо этого, в присутствии серной кислоты арилиодиды с электронодонорными группами претерпевают реакцию дис-

пропорционирования с образованием полииодаренов (реакция Якобсена). Многие авторы, исследовавшие реакцию сульфирования иодбензола, отмечают сложности, связанные с возможностью протекания реакции отщепления-присоединения атома иода от субстрата. Так, в реакции сульфирования 2-иод-мета-ксилола (**1**), в зависимости от соотношения субстрат – серная кислота, были получены следующие иодпроизводные: 4-иод-мета-ксилол (**2**), 2,4-дииод-мета-ксилол (**3**) и 4,6-дииод-мета-ксилол (**4**) [15]. Схожие результаты были получены и для других изомерных иодтолуолов.

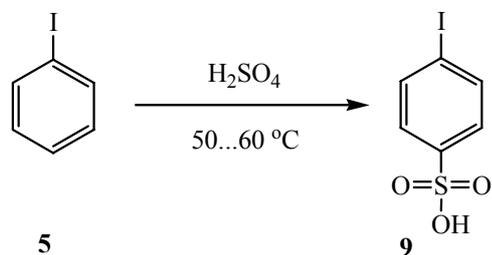


В 1963 г. Hitomi Suzuki (университет Киото, Япония) в диссертации, посвященной реакции Якобсена, привел данные о сульфировании иодбензола (**5**) [16]. При действии на иодбензол серной кислоты в интервале температур $20...80\text{ }^\circ\text{C}$ образуются все изомерные дииодбензолы – 1,2,4-триидбензол (**6**), 1,2,4,5-тетраидбензол (**7**) и гексаидбензол (**8**).



Шведский ученый N.H. Christensen синтезировал 4-иодбензолсульфокилоту (**3**) реакцией гидролиза его ангидрида [17]. В свою очередь, ангидрид 4-иодбензолсульфокилоты был получен в реакции иодбензола и 60 % раствора SO_3 в серной кислоте при $0\text{ }^\circ\text{C}$ с выходом 70...80 %.

Нами разработан простой способ сульфирования иодбензола (**5**) действием 94...98 %-й серной кислоты при $50...60\text{ }^\circ\text{C}$. Так, при соотношении иодбензол – серная кислота – 1:1,5 за 30 ч получили 4-иодбензолсульфокилоту (**9**) с выходом 90...95 %. В ходе проведения реакции через каждые 5 ч фильтровали выпавшие кристаллы целевой сульфокилоты, или же экстрагировали горячим хлороформом. При более высокой температуре выход 4-иодбензолсульфокилоты (**9**) не превышал 60 %, дополнительно всегда образовывались побочные продукты диспропорционирования (ди- и триидбензолы). Особенно следует отметить, что при данных условиях реакция имеет высокую региоселективность, т. к. образовывались только продукты паразамещения, тогда как при использовании концентрированной серной кислоты наблюдалось образование и орто-иодбензолсульфокилоты (до 5 %).

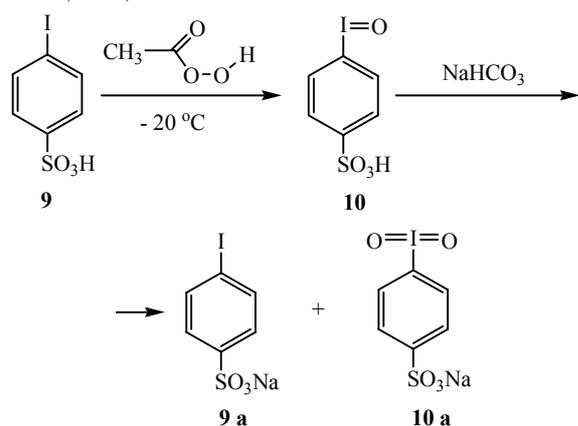


4-Иодбензолсульфокилоту (**9**) очень гигроскопична, поэтому ее необходимо хранить в сухой атмосфере. Для перекристаллизации лучше всего подходит хлороформ или смесь хлороформ – гексан.

Для получения СПИ на основе сульфокилоты (**9**) использовали различные окислительные системы. При действии на сульфокилоту (**9**) 30 %-ного раствора пероксида водорода при температуре $20\text{ }^\circ\text{C}$ протекала бурная реакция с выделением O_2 . Анализ реакционной массы методом тонкослойной хроматографии (ТСХ) показал наличие нового компонента с $R_f 0,76$ (элюент гексан – этилацетат 5:1). Схожий процесс наблюдался и при использовании надуксусной кислоты. Для предотвращения разложения пероксида водорода и надкислоты мы применили охлаждение от 0 до $-20\text{ }^\circ\text{C}$ и поменяли последовательность прибавления компонентов реакции.

К охлажденной до $-20\text{ }^\circ\text{C}$ сульфокилоте небольшими порциями прибавляли 40 %-й раствор надуксусной кислоты, и при повышении температуры до $20\text{ }^\circ\text{C}$ происходило полное растворение сульфокилоты (**9**) в смеси уксусной и надуксусной кислот, но уже через некоторое время вновь выпадал осадок. Полученное СПИ обладало чрезвычайно низкой растворимостью в органических растворителях, частично растворялось в воде при нагревании, что и позволило записать спектры ЯМР. Анализ спектров ЯМР ^1H показал, что при нагревании происходит частичное разложение СПИ (рис. 1), которое имеет характер диспропор-

ционирования. Так, уже через 3 дня в спектре ПМР присутствовали сигналы трех соединений, содержащих атомы иода (I, III и V), рис. 2. При добавлении эквимолярного количества NaHCO_3 к водной суспензии соединения (**10**) происходило его полное растворение. В спектрах ЯМР полученного раствора присутствовали сигналы натриевых солей 4-иодбензолсульфокислоты (**9a**) и, возможно, 4-иодилбензолсульфокислоты (**10a**), причем, судя по интегральному спектру – в соотношении 6:1 (рис. 3). Таким образом, в щелочной среде 4-иодилбензолсульфокислота (**10**) диспропорционирует, образуя неодинаковое количество соединений иода (I и V).



Попытки установить истинную структуру соединения (**10**) с помощью рентгеноструктурного анализа не увенчались успехом. Порошкообразная

форма вещества показывает возможность существования данного СПИ в полимерной форме (**10b**), хотя не исключена и циклическая форма (**10c**).

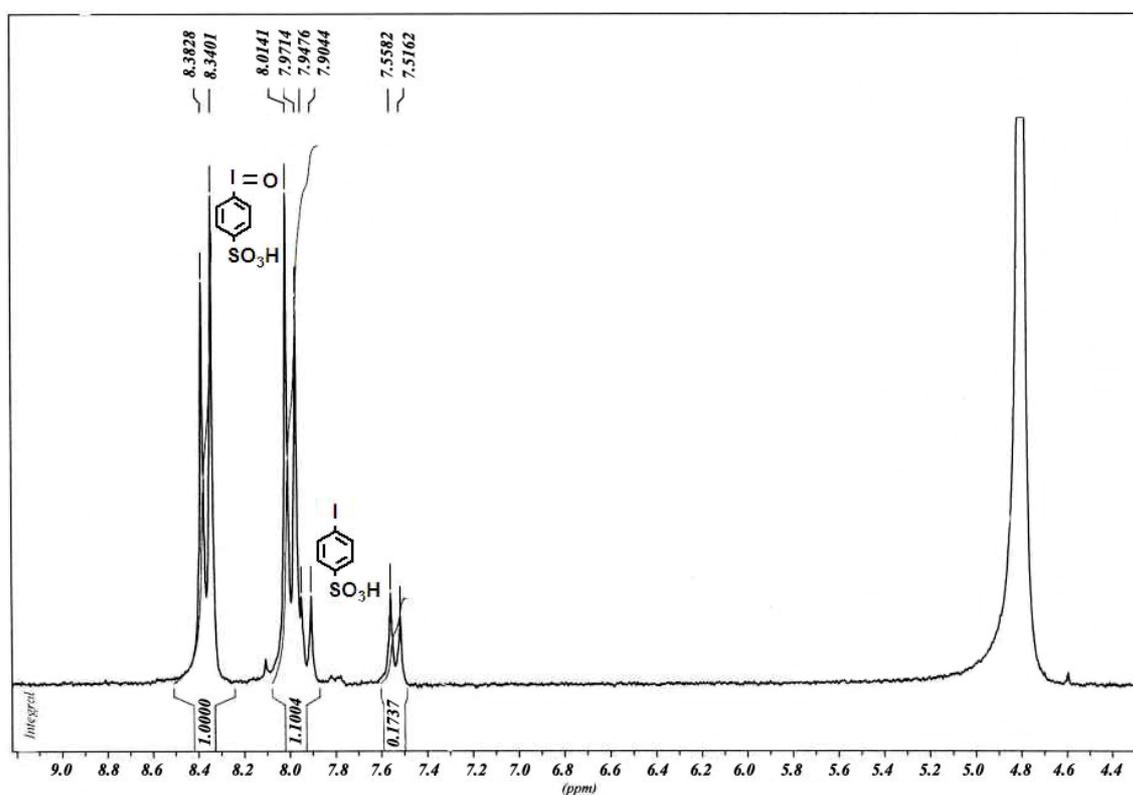
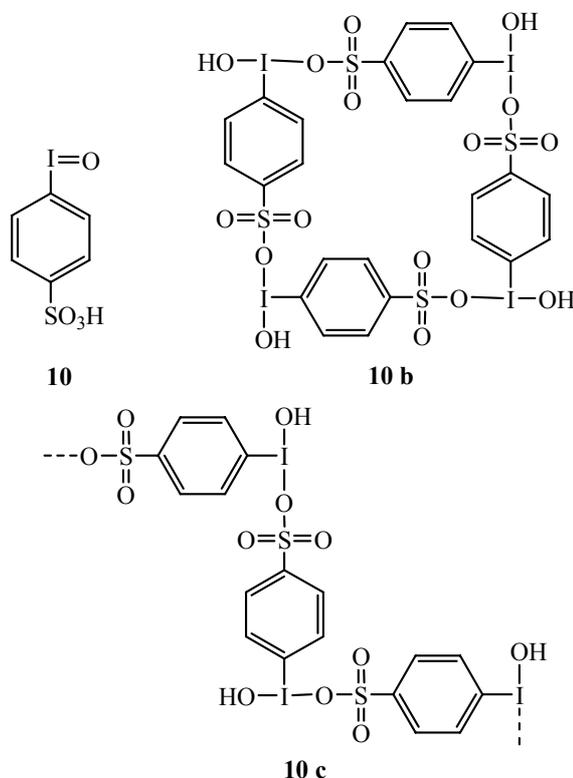


Рис. 1. Спектр ЯМР ^1H (400 МГц) 4-иодилбензолсульфокислоты (**10**) в D_2O при нагревании

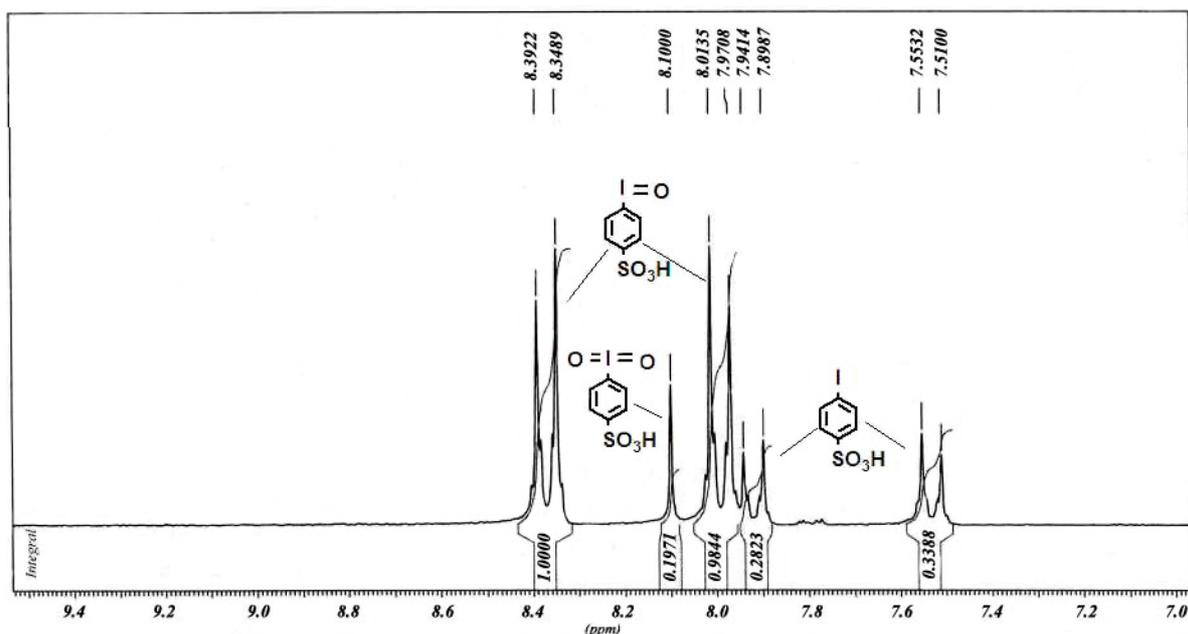


Рис. 2. Спектр ЯМР ^1H (400 МГц) 4-иодозилбензолсульфокислоты (**10**) в D_2O при нагревании через три дня

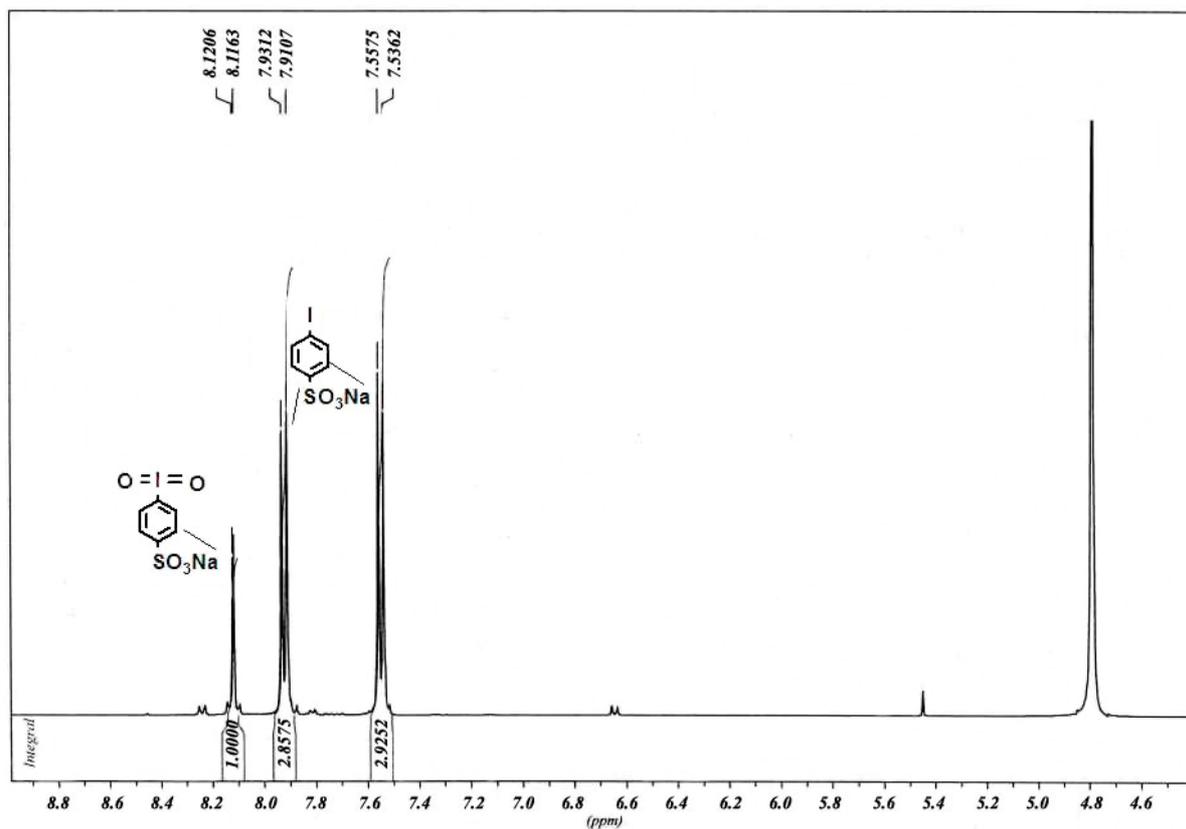


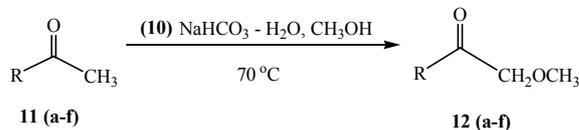
Рис. 3. Спектр ЯМР ^1H (400 МГц) продуктов диспропорционирования 4-иодозилбензолсульфокислоты (**10**) в D_2O действием NaHCO_3

Следует отметить, что 4-иодозобензолсульфокислота (**10**) ранее была получена схожим способом, но с низким выходом (20 %) [18]. Мы модифицировали существующий метод, увеличив количество используемого окислителя и заменив в про-

цедуре выделения промывку водой на промывку хлороформом. Тем самым минимизированы потери целевого СПИ на стадии выделения и сушки.

Функционализация кетонов реагентом (**10**) также осуществлялась в щелочной среде при $70\text{ }^\circ\text{C}$

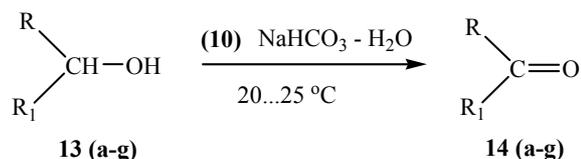
в присутствии метанола с образованием α -метоксилированных продуктов (табл. 1). Действие реагента (**10**) отличается от ранее изученного процесса в присутствии иодозобензола, в результате окисления которым енолизированных кетонов образуются диметоксигидроксипроизводные [19].



Как видно из таблицы, арилалкилкетоны метоксилировались с высокими выходами, и продукты реакции, после отделения от примесей реагента и его восстановленной формы, имели ЯМР-ную чистоту. В то же время с алкилкетонами выходы были умеренными, и для очистки продуктов реакции потребовалось использование колоночной хроматографии.

Также исследована реакция окисления первичных и вторичных спиртов 4-иодозилбензолсульфокислотой (**10**) в 5 %-ном водном растворе NaHCO_3 при температуре 20°C при добавлении каталитических количеств RuCl_3 (0,5 моль. %). В отличие от мета-иодозобензойной кислоты первичные спирты окислялись не до альдегидов, а до карбоновых кислот, что усложняло их отделение от остатка реагента и его восстановленной формы. Окисление вторичных спиртов приводило только к соответствующим кетонам с высокими выходами при добавлении каталитических количеств RuCl_3 (0,2 моль. %) и 1,0...1,5 эквивалента 4-иодозилбен-

золсульфокислоты (**10**) в 5%-м водном растворе NaHCO_3 при температуре 20°C .



Экспериментальная часть

Контроль за ходом реакции и чистотой полученных продуктов осуществляли методом ТСХ на пластинах «Sorbfil» с закрепленным слоем SiO_2 (ПТсХ–П–А–УФ) и «Merck» (SiO_2 , 60 F₂₅₄, 0,25 мм); элюирующая система указана в тексте. Детектирование пятен производили под УФ-светом. Для обнаружения веществ пластины опрыскивали раствором 2,4-динитрофенилгидразина, реактива Эрлиха. Спектры ЯМР ^1H и ^{13}C регистрировали на приборах Bruker AV-300 (300 МГц) и Bruker DRX (200 и 400 МГц), внутренний стандарт – ТМС, растворители – CDCl_3 , вода – D_2O . Температуры плавления определяли на микронагревательном столике Voetius.

Идентификацию полученных соединений проводили сопоставлением аналитических и физико-химических характеристик с аутентичными образцами, синтезированными известными методами. Пробы смешения полученных соединений с известными образцами депрессии температуры плавления не дают.

Таблица 1. α -Метоксилирование кетонов действием 4-иодозилбензолсульфокислоты (**10**) в метаноле

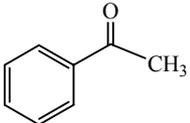
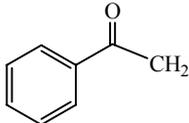
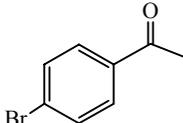
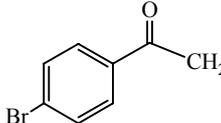
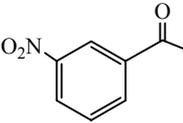
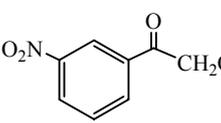
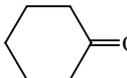
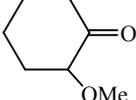
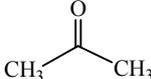
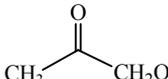
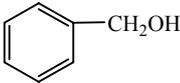
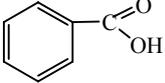
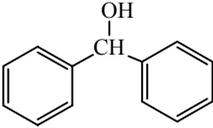
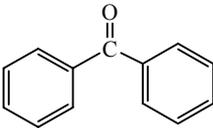
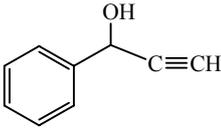
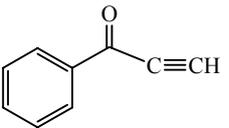
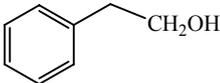
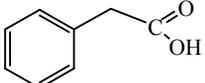
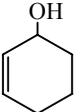
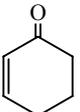
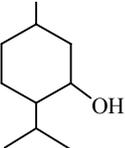
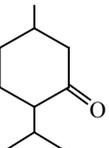
Кетон	Продукт	Время, ч	Выход, %
 (11a)	 (12a)	9	78
 (11b)	 (12b)	5	79
 (11c)	 (12c)	8	81
 (11d)	 (12d)	12	47
 (11f)	 (12f)	5	41

Таблица 2. Окисление спиртов действием 4-иодилбензолсульфонокислоты (3a) в воде

Субстрат	Продукт	Время, ч	Выход, %
 (13a)	 (14a)	1	94
 (13b)	 (14b)	2	93
 (13c)	 (14c)	2	74
 (13d)	 (14d)	1	92
 (13f)	 (14f)	10	92
 (13e)	 (14e)	10	89
 (13g)	 (14g)	8	92

Органические растворители чистили по известным методикам [20. С. 25–75]. Кислоты AcOH, H₂SO₄, HNO₃, HCl, p-TsOH·H₂O, C₆H₅COOH марки «х.ч.», NaHSO₄ марки «ч», Amberlite IRA 900 Cl² товарный продукт фирмы Supelco. Соединения (11(a-f), 13(a-g)) являются товарными продуктами (фирм Aldrich, Fluka, Fisher и др.).

Методика получения 4-иодбензолсульфонокислоты (9). К 20 мл иодбензола (2) (36,4 г, 0,178 моль) при перемешивании добавляли 50 мл конц. H₂SO₄ (27,2 г, 0,28 моль) и нагревали до 50 °С. Перемешивание при 50...60 °С продолжали 30 ч. Уже через 3 ч реакционная масса приобретала розовый цвет. Для удаления остатков иодбензола добавляли 20 мл гексана и перемешивали 5 мин. Гексановый слой удаляли и проводили экстракцию небольшими порциями кипящего хлороформа (100 мл), максимально пытаясь растворить в нем продукт, в результате чего получили систему из 2-х прозрачных слоев. Верхний слой аккуратно переносили пипеткой в колбу, хлороформ отгоняли. Отогнанный

хлороформ использовали многократно. Полученные кристаллы отфильтровывали, вновь промывали гексаном от остатков иодбензола и сушили под вакуумом. Выход (9) 48,0 г (95 %), T_{пл} 66...68 °С, (T_{пл} 70 °С [17]). Спектр ЯМР ¹H (200 МГц, D₂O, δ, м.д.): 7,48 (д, J=7,6 Гц, 2H_{аром.}), 7,85 (д, J=7,6 Гц, 2H_{аром.}).

Методика получения 4-иодозобензолсульфонокислоты (10). Кристаллы 4-иодбензолсульфонокислоты (9) (7,1 г, 0,025 моль) помещали в стакан и, при охлаждении до -(20...15) °С и интенсивном перемешивании, приливали порциями по 10 мл (общий объем 30 мл) через каждые 30 мин 40 %-ную надуксусную кислоту. По окончании загрузки кислоты охлаждение убирали и вели реакцию при температуре 20 °С. Через 30 мин начинал выпадать осадок 4-иодозобензолсульфонокислоты (10). Реакцию проводили в течение 3 ч, и реакционную смесь оставляли на ночь при температуре 20 °С на воздухе. Выпавший осадок отфильтровывали и быстро промывали 100 мл хлороформа, сушили на воздухе. Получили порошок белого цвета. Выход (10)

6,9...7,4 г (92...98 %), $T_{пл}$ 170...172 °С. Спектр ЯМР 1H (400 МГц, D_2O , δ , м.д.): 7,98 (д, $J=8,5$ Гц, $2H_{аром.}$), 8,36 (д, $J=8,5$ Гц, $2H_{аром.}$).

Общая методика α -метоксилирования кетонов действием 4-иодилбензолсульфокислоты (10) в метаноле. 50,4 мг (0,6 ммоль) гидрокарбоната натрия и 72 мг (0,24 ммоль) реагента (10) при перемешивании растворяли при охлаждении до 0...5 °С в метаноле (2 мл). Затем порциями добавляли раствор кетона (11(a-f)) (0,2 ммоль) в 1 мл метанола в течение 15 мин. Далее охлаждение убирали и проводили реакцию при температуре 20 °С в течение 5...12 ч в зависимости от субстрата. Контроль реакции вели методом ТСХ в системе гексан – этилацетат в соотношении 2:1, полученные продукты идентифицировали по спектральным данным. Выходы продуктов представлены в табл. 1.

α -Метоксиацетофенон **12a**: ЯМР 1H ($CDCl_3$, 300 МГц, δ , м.д.) 3,52 (с, CH_3), 4,73 (с, CH_2), 7,49 (т, $2H_{аром.}$), 7,62 (т, $1H_{аром.}$), 7,93 (д, $J=7,5$ Гц, $2H_{аром.}$).

1-(4-Бромфенил)-2-метоксиэтанон **12b**: ЯМР 1H ($CDCl_3$, 300 МГц, δ , м.д.) 3,23 (с, $-OCH_3$), 3,74 (с, 2H), 7,38 (д, $J=8,7$ Гц, $2H_{аром.}$), 7,51 (д, $J=8,4$ Гц, $2H_{аром.}$).

1-(3-Нитрофенил)-2-метоксиэтанон **12c**: ЯМР 1H ($CDCl_3$, 300 МГц, δ , м.д.) 3,51 (с, $-OCH_3$), 4,94 (с, 2H), 8,10 (т, $1H_{аром.}$), 8,20 (д, $J=8,7$ Гц, $1H_{аром.}$), 8,27 (д, $J=4,2$ Гц, $1H_{аром.}$), 8,37 (с, $1H_{аром.}$).

2-Метоксициклогексанон **12d**: ЯМР 1H ($CDCl_3$, 300 МГц, δ , м.д.) 1,71...1,96 (м, 2H), 2,24...2,32 (м, 4H), 2,50 (м, 2H, $-CH_2C(O)-$), 3,42 (с, $-OCH_3$), 3,55 (т, 1H, $-CH(OMe)C(O)-$).

Метоксиацетон **12f**: ЯМР 1H ($CDCl_3$, 300 МГц, δ , м.д.) 2,15 (с, $-C(O)CH_3$), 3,42 (с, $-OCH_3$), 4,03 (с, $-OCH_2-$).

Общая методика окисления спиртов 13(a-g) действием 4-иодилбензолсульфокислоты (10). 4-Иодилбензолсульфокислоту (10) (40 мг, 0,15 ммоль) добавляли к водному раствору $NaHCO_3$ (63 мг в 1 мл воды) и перемешивали до получения гомогенного раствора. Затем добавляли спирт **13(a-g)** (0,1 ммоль) и водный раствор $RuCl_3$ (1 мкл, 0,2 М раствора, 0,2 ммоль %) при температуре 20 °С и интенсивно перемешивали в течение 1...24 ч в зависимости от спирта, контроль реакции проводили методом тонкослойной хроматографии по исчезновению исходного спирта. Идентификацию продуктов **14(a-g)** проводили с помощью газо-жидкостной хроматографии с масс-спектрометрическим детектором по времени удерживания продуктов реакции и сравнении с коммерчески доступными образцами (Aldrich, Fluka, Fisher и др.), а также в сравнении их масс-спектров. Во всех случаях конверсия была не ниже 99 %.

Выводы

Модифицированы методы синтеза 4-иодбензолсульфокислоты (9) и 4-иодозилбензолсульфокислоты (10). Изучены препаративные возможности соединения (10) в водной среде. Показано, что этот реагент более активен в реакции со спиртами, чем мета-иодозобензойная кислота, а также способен растворяться в водном растворе $NaHCO_3$, что позволяет его отнести к числу редких растворимых соединений поливалентного иода.

Работа выполнена при финансовой поддержке в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 гг. (ГК № 02.740.11.5211, шифр заявки «2010-1.5-000-010»).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Stang P.J., Zhdankin V.V. Organic polyvalent iodine compounds // Chem. Rev. – 1996. – V. 96. – № 3. – P. 1123–1178.
2. Varvoglis A. Hypervalent iodine in organic synthesis. – San Diego: Academic Press, 1997. – 223 p.
3. Varvoglis A. Chemical transformations induced by hypervalent iodine reagents // Tetrahedron. – 1997. – V. 53. – № 4. – P. 1179–1255.
4. Kitamura T., Fujiwara Y. Recent progress in the use of hypervalent iodine reagents in organic synthesis // A review Org. Prep. and Proc. Int. – 1997. – V. 29. – № 3. – P. 409–458.
5. Zhdankin V.V., Stang P.J. Alkynyliodonium salts in organic synthesis // Tetrahedron. – 1998. – V. 54. – № 37. – P. 10927–10966.
6. Wirth T., Hirt U.H. Hypervalent iodine compounds: recent advances in synthetic applications // Synthesis. – 1999. – № 8. – P. 1271–1287.
7. Moriarty R.M., Prakash O. Oxidation of carbonyl compounds with organohypervalent iodine reagents. – Canada: John Wiley & Sons, 1999. – 624 p.
8. Moriarty R.M., Prakash O. Oxidation of phenolic compounds with organohypervalent iodine reagents. – Canada: John Wiley & Sons, 2001. – 636 p.
9. Togo H., Sakuratani K. Polymer-supported hypervalent iodine reagents // Synlett. – 2002. – № 12. – P. 1966–1975.
10. Zhdankin V.V., Stang P.J. Recent developments in the chemistry of polyvalent iodine compounds // Chem. Rev. – 2002. – V. 102. – № 7. – P. 2523–2584.
11. Zhdankin V.V., Stang P.J. Chemistry of polyvalent iodine // Chem. Rev. – 2008. – V. 108. – № 12. – P. 5299–5358.
12. Dess D., Martin J. Readily Assessible 12–1–5-Oxidant for the Conversion of Primary and Secondary Alcohols to Aldehydes and Ketones // The Journal of Organic Chemistry. 2010. URL: <http://pubs.acs.org/page/jocea/anniversary/75/most-cited.html> (дата обращения: 25.10.2010).
13. Yusubov M.S., Zhdankin V.V. Development of new recyclable reagents and catalytic systems based on hypervalent iodine compounds // Mendeleev Commun. – 2010. – V. 20. – № 4. – P. 185–191.
14. Fletcher J.C. The reaction of iodobenzene-*p*-sulphonyl chloride (pipsyl chloride) with certain amino acids and peptides, and with insulin // Biochem J. – 1967. – V. 102. – № 3. – P. 815–824.
15. Suzuki H., Maruyama K., Goto R. The Anomalous Behavior of Some 2,6-Disubstituted Iodobenzenes in the Jacobsen Reaction // Bull. Chem. Soc. Japan. – 1965. – V. 38. – № 20. – P. 1474–1478.
16. Suzuki H. On the Jacobsen reaction character and reaction mechanism // Kyoto University Research Information Repository. 2010. URL: <http://repository.kulib.kyoto-u.ac.jp/dspace/handle/2433/86287> (дата обращения: 26.10.2010).
17. Christensen N.H. The sulfonation of iodobenzene // Acta Chemical Scandinavica. – 1961. – № 15. – P. 219–221.
18. Evans D.F., Upton M.W. Studies on singlet oxygen in aqueous solution. Part 1. Formation of singlet oxygen from hydrogen peroxide with two-electron oxidants // J. Chem. Soc. – 1985. – № 6. – P. 1141–1145.
19. Moriarty R.M., Hu H., Gupta S.C. Direct α -hydroxylation of ketones using iodobenzene // Tetrahedron Lett. – 1981. – V. 22. – № 14. – P. 1283–1286.
20. Органические растворители / под ред. Я.М. Варшавского. – М.: Иностранная лит-ра, 1958. – 519 с.

Поступила 11.11.2010 г.