

ОСОБЕННОСТИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ДОСТУПНЫХ ПОЛИФТОРАЛКИЛОКСИРАНОВ С АМИНАМИ И ИССЛЕДОВАНИЕ ТРИБОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЛУЧЕННЫХ СОЕДИНЕНИЙ

© 2022 г. Т. И. Горбунова^{а,*}, В. И. Салоутин^а

^а Институт органического синтеза имени И. Я. Постовского Уральского отделения Российской академии наук, ул. С. Ковалевской/Академическая 22/20, Екатеринбург, 620108 Россия

*e-mail: gorbunova@ios.uran.ru

Поступило в редакцию 10 марта 2022 г.

После доработки 10 марта 2022 г.

Принято к печати 21 апреля 2022 г.

Исследованы особенности взаимодействия метилоксиранов с полифторалкильными заместителями и высокоосновных аминов. В результате региоселективного раскрытия оксиранового цикла получены аминоспирты, использованные в качестве модификаторов трения. Измерены коэффициенты трения в присутствии 2%-ных растворов синтезированных аминоспиртов в индустриальном смазочном масле.

Ключевые слова: фторалкилзамещенные оксираны, амины, региоселективное раскрытие оксиранового цикла, аминоспирты, трибологические свойства

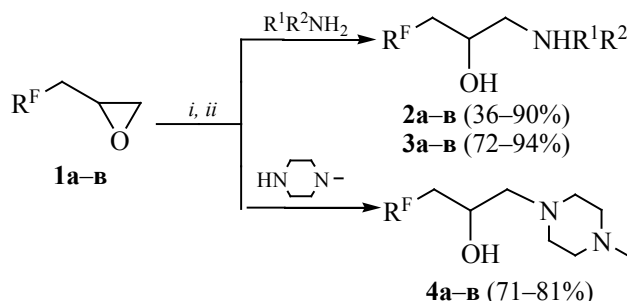
DOI: 10.31857/S0044460X22060105, **EDN:** CMUDYI

Со второй половины прошлого века особую популярность приобрели смазочные материалы Krytox, Fomblin и Demnum, представляющие собой перфторированные полиэфиры с различными концевыми группами: OCF₃ (Fomblin Z03), CH₂OH (Fomblin Z-DOL, Demnum SA), COOH (Fomblin Z-DIAC) и др. [1]. Несмотря на высокую термическую стабильность, стойкость к окислению и на наличие превосходных противоизносных свойств перфторированных полиэфиров, их применение ограничено, так как при 300°C эти материалы диспропорционируют с образованием реакционноспособных фторангидридов [2, 3]. Часть фторангидридов реагирует с металлами, образуя соли на поверхностях трения и тем самым улучшая процесс трения, а несвязанные фторангидриды подвергаются дальнейшему окислению и ухудшают трибологические характеристики перфторированных полиэфиров [4, 5]. Применение перфторполиэфиров предпочтительно на металлических поверхностях, выполненных из стали и алюминия [6].

Перфторполиэфиры – дорогостоящие и олеофобные материалы, их невозможно использовать для улучшения трибологических свойств смазок углеводородной природы. Для этих целей необходимы соединения и материалы смешанной природы, когда в одной структуре присутствуют углеводородные и фторированные фрагменты. Стоимость таких материалов вряд ли будет низкой, но их внесение в обычные масла в сравнительно низких концентрациях позволит значительно снизить коэффициент трения при использовании в качестве разделительной смазки на металлических поверхностях.

Нами исследованы реакции доступных фторсодержащих оксиранов с N-нуклеофилами различной природы и возможность применения полученных соединений в качестве модификаторов трения. Среди фторсодержащих реагентов на отечественном рынке доступны 2,2,2-трифторэтанол, теломерные спирты H(CF₂CF₂)_nCH₂OH

Схема 1.



i: MeCN, кипячение (**1a**, **б**); *ii*: 100°C (**1в**). R^F = CF₃CH₂O (**1a**), H(CF₂)₂CH₂O (**1б**), *n*-C₄F₉ (**1в**); R¹ = *n*-C₇H₁₅, R² = H (**2a-в**); R¹ = *c*-C₆H₁₁, R² = H (**3a-в**).

и некоторые перфторкарбоновые кислоты, в том числе перфторвалериановая кислота. На основе перечисленных соединений при взаимодействии соответствующих спиртов с эпихлоргидрином в условиях межфазного катализа [7] были получены (2,2,2-трифторэтилокси)метилоксиран **1a** и (2,2,3,3-тетрафторпропилокси)метилоксиран **1б** с ω-атомом водорода. (1,1,2,2,3,3,4,4,4-Нонафторбутил)метилоксиран **1в** синтезирован в несколько стадий: сначала на основе калийной соли перфторвалериановой кислоты получали перфторбутилоид [8], который присоединяли по двойной связи аллилового спирта в присутствии дитионита натрия в водно-ацетонитрильном растворе [9]. Продукт присоединения вводили в реакцию элиминирования HI с замыканием оксиранового цикла [10].

Реакции соединений **1a-в** с N-нуклеофилами протекали стандартно с региоселективным раскрытием оксиранового цикла по правилу Красуского [11]. В качестве нуклеофилов использовали высокоосновные соединения различной природы: *n*-гептиламин (pK_a 10.6 [12]), циклогексиламин (pK_a 10.5 [13]) и N-метилпиперазин (pK_a 9.6 [14]) (схема 1).

Реакции оксиранов **1a**, **б** проводили в среде кипящего ацетонитрила, а реакции соединения **1в** – без растворителя при 100°C, поскольку реакции в ацетонитриле шли с низкими выходами аминок спиртов **2в-4в**. Во всех случаях соединения **2-4** получали с выходами от умеренных до высоких, за исключением аминок спирта **2б**, для которого

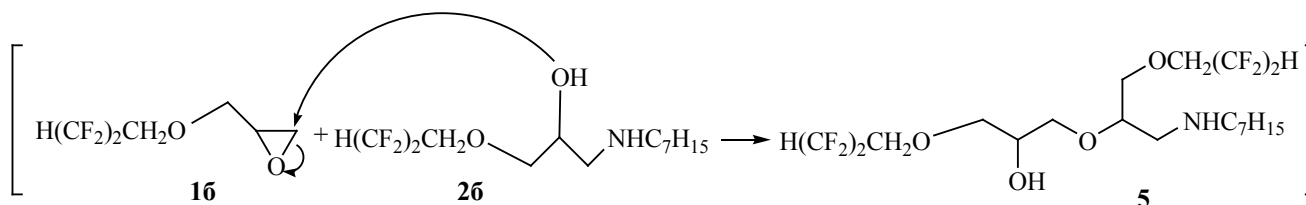
хроматографически зафиксирован выход 36%, а само соединение **2б** выделено не было. Изменения условий с целью повышения выхода аминок спирта **2б** (замена растворителя на более низкокипящий, увеличение времени реакции при комнатной температуре, изменение порядка загрузки реагентов) положительных результатов не дали: реакционные массы сильно осмолялись, и соединение **2б** разгонкой в вакууме масляного насоса выделить не удалось.

По данным дополнительного исследования методом ГХ-МС реакционных масс, полученных при взаимодействии оксирана **1б** с гептиламином, в них в преобладающем количестве содержится соединение **5**, *m/z* 490 (C₁₉H₃₃F₈NO₄), с соответствующим пиком иона [M – H]⁺. Оно, предположительно, получается в результате реакции образовавшегося *in situ* аминок спирта **2б** как нуклеофила с молекулой оксирана **1б** (схема 2).

Вместе с соединением **5** элюировалось еще одно вещество, молекулярный ион которого имеет более высокую массу. По-видимому, в условиях реакции оксирана **1б** с гептиламином образуются более высокомолекулярные неидентифицированные соединения, так как фторалкилзамещенные оксираны при взаимодействии с нуклеофильными реагентами проявляют значительную склонность к олигомеризации [7, 15].

Полифторированные соединения – перспективные модификаторы, улучшающие трибологические характеристики смазочных масел [16]. Даже

Схема 2.



при небольших концентрациях фторированного модификатора около поверхности трения создается высокая плотность его молекул, поскольку углеводородная часть модификатора ориентирована вовнутрь базового масла, а фторированный фрагмент – к границе с поверхностью трения. Улучшению износоустойчивости и уменьшению коэффициента трения способствуют трибохимические реакции на поверхности металлических пар трения, в результате которых образуется трибослой, представляющий собой соли металлов [4].

Необходимое условие для создания новых смазочных материалов на основе нефтяных масел и фторированных добавок – их взаимная растворимость или образование устойчивых эмульсий модификаторов трения в среде масла. Полученные аминспирты **2а**, **в**, **3а–в** и **4а–в** в концентрации 2% при перемешивании полностью растворяются в смазочном масле И-20А. Полученные растворы стабильны в течение длительного времени наблюдений (более полугодя). Были проведены испытания на трибометре с целью определения коэффи-

циента трения стальной пары трения. Измерения коэффициента трения в присутствии полученных растворов проводили при разных нагрузках и сравнивали с коэффициентами трения в присутствии немодифицированного масла И-20А (табл. 1).

Коэффициенты трения во всех случаях более низкие, чем в присутствии масла И-20А. Наибольший эффект снижения коэффициента трения при использовании созданных в работе новых смазочных материалов достигается в области низких нагрузок (10, 20 Н), при нагрузках 30 и 60 Н снижение коэффициента трения выражено менее ярко.

Присутствие двух атомов кислорода в структуре фторированных аминспиртов **2а**, **3а**, **б** и **4а**, **б** благоприятно влияет на адгезию молекул модификаторов трения, поскольку свободные пары электронов атомов кислорода координированы к атомам железа на поверхности [17]. В соединениях **2в–4в** присутствует только один атом кислорода в группе ОН, но эти соединения обладают наиболее длинным фторалкильным радикалом, и поэтому трибологические характеристики смазочных со-

Таблица 1. Коэффициенты трения в присутствии 2%-ных растворов аминспиртов **2а**, **в**, **3а–в**, **4а–в** в промышленном смазочном масле И-20А

Соединение	Коэффициент трения при различных нагрузках			
	10 Н	20 Н	30 Н	60 Н
И-20А	0.099	0.101	0.107	0.112
2а	0.050	0.079	0.095	0.100
2в	0.069	0.081	0.089	0.104
3а	0.050	0.080	0.091	0.100
3б	0.037	0.072	0.088	0.093
3в	0.066	0.091	0.100	0.104
4а	0.067	0.083	0.089	0.103
4б	0.045	0.069	0.087	0.092
4в	0.042	0.057	0.078	0.099

ставов на их основе не уступают показателям других исследованных образцов.

Введение фторзамещенных аминоспиртов **2а, в, 3а–в** и **4а, б** в масло И-20А в качестве модификаторов трения позволяет снизить коэффициент трения по сравнению с исходным маслом при нагрузке 10, 20, 30 и 60 Н в 1.4–2.7, 1.1–1.8, 1.1–1.4 и 1.1–1.2 раза соответственно.

Таким образом, при взаимодействии доступных фторалкилзамещенных оксиранов с высокоосновными аминами (*n*-гептиламином, циклогексиламином, *N*-метилпиперазином) происходит региоселективное раскрытие оксирана по правилу Красуского. Реакционные условия и выходы полученных аминоспиртов зависят как от природы фторалкильного фрагмента оксиранов, так и от природы амина. Синтезированные аминоспирты – перспективные добавки к маслам углеводородной природы, в качестве разделительной смазки они снижают коэффициент трения.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

ГХ-МС-Анализ выполнен на газовом хроматографе/масс-спектрометре Agilent GC 7890A MS 5975C Inert XL EI/CI с квадрупольным масс-спектрометрическим детектором (ГХ-МС), снабженном кварцевой капиллярной колонкой HP-5MS (длина 30 м, диаметр 0.25 мм, толщина пленки 0.25 мкм), энергия ионизации – 70 эВ, сканирование по полному ионному току в интервале m/z 20–1000 Да. Газ-носитель – гелий, деление потока 1:50, расход газа 1.0 мл/мин. Температура колонки: начальная 40°C (выдержка 3 мин), программирование со скоростью 10 град/мин до 290°C (выдержка 2 мин); температура испарителя – 250°C, источника – 230°C, квадруполя – 150°C, переходной камеры – 280°C. Спектры ЯМР ^1H (400 МГц), ^{19}F (376 МГц) измерены на спектрометре Bruker DRX-400 (относительно SiMe_4 и C_6F_6). ИК спектры записаны на ИК Фурье-спектрометре PerkinElmer Spectrum One в интервале 4000–400 cm^{-1} методом нарушенного полного внутреннего отражения. Элементный анализ выполнен с помощью анализаторов Carlo Erba CHN/S-O EA 1108 и PerkinElmer PE 2400 серия II. Температуры плавления измерены в открытых капиллярах на оборудовании для определения точки плавления Stuart SMP3.

Измерение коэффициента трения в присутствии 2%-ных растворов аминоспиртов **2а, в, 3а–в** и **4а–в** в промышленном смазочном масле И-20А проведены при комнатной температуре с использованием трибометра CSM Instruments по схеме шар–диск. Диаметры шара и диска – 10 и 35 мм соответственно. Шар и диск изготовлены из стали марки Ст 3 с твердостью по Роквеллу 60–63 (С-шкала). Задаваемые для испытаний нагрузки – 10, 20, 30 и 60 Н, количество циклов испытания 10000. Перед испытанием шар и диск тщательно обезжиривали толуолом и сушили на воздухе, на диск наносили дозу приготовленного смазочного состава (100 мкл). Все тесты выполнены в четырех параллелях, погрешность измерений 0.001–0.002.

Общая методика синтеза соединений 2а, 3а, б, 4а, б. Смесь амина и ацетонитрила нагревали до кипения и медленно по каплям прибавляли оксиран **1а** или **1б**. Реакционную массу кипятили 4.5 ч, затем охлаждали, промывали разбавленной HCl и водой. Слои разделяли, из водного слоя продукт реакции экстрагировали хлороформом. Органические фракции объединяли, сушили MgSO_4 и отгоняли хлороформ. Соединения **2а** и **3а** очищали перекристаллизацией из гексана, а соединения **3б** и **4а, б** выделяли перегонкой в вакууме масляного насоса.

1-(Гептиламино)-3-(2,2,2-трифторэтилокси)пропан-2-ол (2а) получали из 16.2 г (0.14 моль) *n*-гептиламина, 50 мл ацетонитрила, 20.0 г (0.13 моль) оксирана **1а**. Выход 16.1 г (46%), светло-желтые кристаллы, т. пл. 46–50°C. ИК спектр, ν , cm^{-1} : 3284 (N–H), 3116 (O–H), 2825, 2847, 2920 (C–H), 1273, 1290 (C–F), 1158, 1178 (C–O–C). Спектр ЯМР ^1H (CDCl_3), δ , м. д.: 0.88 т (3H, CH_3 , J 6.7 Гц), 1.29 м [8H, $(\text{CH}_2)_4\text{CH}_3$], 1.48 м [2H, $\text{CH}_2(\text{CH}_2)_4\text{CH}_3$], 2.42 уш. с (2H, OH, NH), 2.65 м (2H, CH_2NHCH_2), 2.74 д.д (2H, CH_2NHCH_2 , J 12.1, 4.0 Гц), 3.64 м (2H, OCH_2CH), 3.84 м [1H, $\text{CH}(\text{OH})$], 3.91 к (2H, CH_2CF_3 , J 8.7 Гц). Спектр ЯМР ^{19}F (CDCl_3), δ_{F} , м. д.: 87.47 т (3F, CF_3 , J 8.7 Гц). Найдено, %: C 53.10; H 8.85; F 21.05; N 5.16. $\text{C}_{12}\text{H}_{24}\text{F}_3\text{NO}_2$. Вычислено, %: C 53.12; H 8.92; F 21.01; N 5.16.

3-(2,2,2-Трифторэтилокси)-1-(циклогексил-амино)пропан-2-ол (3а) получали из 14.0 г (0.14 моль) циклогексиламина, 50 мл ацетонитри-

ла, 20.0 г (0.13 моль) оксирана **1а**. Выход 23.0 г (75%), белые кристаллы, т. пл. 59–61°C. ИК спектр, ν , см^{-1} : 3280 (N–H), 3084 (O–H), 2714, 2859, 2953 (C–H), 1272, 1283 (C–F), 1153, 1163 (C–O–C). Спектр ЯМР ^1H (CDCl_3), δ , м. д.: 1.45 м (10H, 5CH_2), 2.40 м [3H, $\text{CH}(\text{OH})\text{CH}_2\text{NHCN}$], 2.62 д. д (1H, CHNHNH , J 12.1, 8.2 Гц), 2.80 д. д (1H, CHNHNH , J 12.1, 4.0 Гц), 3.64 м (2H, OCH_2CH), 3.79 м [1H, $\text{CH}(\text{OH})$], 3.90 м (2H, CH_2CF_3). Спектр ЯМР ^{19}F (CDCl_3), δ_{F} , м. д.: 87.46 т (3F, CF_3 , J 8.7 Гц). Найдено, %: С 51.76; Н 7.90; F 22.33; N 5.49. $\text{C}_{11}\text{H}_{20}\text{F}_3\text{NO}_2$. Вычислено, %: С 52.05; Н 8.07; F 22.30; N 5.49.

1-(4-Метилпиперазин-1-ил)-3-(2,2,2-трифторэтилокси)пропан-2-ол (4а) получали из 3.5 г (0.04 моль) N-метилпиперазина, 13 мл ацетонитрила, 5.0 г (0.03 моль) оксирана **1а**. Выход 5.8 г (71%) белые кристаллы, т. кип. 152–155°C (5 мм рт. ст.). ИК спектр, ν , см^{-1} : 3177 (O–H), 2804, 2881, 2941 (C–H), 1280 (C–F), 1162 (C–O–C). Спектр ЯМР ^1H (CDCl_3), δ , м. д.: 2.30 с (3H, NCH_3), 2.44 м [8H, $2(\text{NCH}_2\text{CH}_2\text{N})$], 2.68 уш. с [3H, $\text{CH}(\text{OH})\text{CH}_2\text{N}$], 3.64 м (2H, OCH_2CH), 3.92 м (3H, $\text{CF}_3\text{CH}_2\text{OCH}_2\text{CH}$). Спектр ЯМР ^{19}F (CDCl_3), δ_{F} , м. д.: 87.54 т (3F, CF_3 , J 8.7 Гц). Найдено, %: С 46.84; Н 7.73; F 21.78; N 11.23. $\text{C}_{10}\text{H}_{19}\text{F}_4\text{N}_2\text{O}_2$. Вычислено, %: С 46.87; Н 7.47; F 22.24; N 10.93.

3-(2,2,3,3-Тетрафторпропилокси)-1-(циклогексиламино)пропан-2-ол (3б) получали из 4.2 г (0.04 моль) циклогексиламина, 16 мл ацетонитрила, 6.0 г (0.03 моль) оксирана **1б**. Выход 8.2 г (72%) белые кристаллы, т. кип. 171–173°C (5 мм рт. ст.). ИК спектр, ν , см^{-1} : 3113 (O–H), 2855, 2926 (C–H), 1203, 1233, 1289 (C–F), 1060, 1102, 1147 (C–O–C). Спектр ЯМР ^1H (CDCl_3), δ , м. д.: 1.46 м (10H, 5CH_2), 2.42 м [1H, $\text{CH}(\text{CH}_2)_5$], 2.61 м (1H, NH), 2.79 м [3H, $\text{CH}(\text{OH})\text{CH}_2$], 3.59 м (2H, OCH_2CH), 3.80 м [1H, $\text{CH}(\text{OH})$], 3.91 м (2H, CF_2CH_2), 5.93 т.т (1H, HCF_2 , J 53.2, 4.8 Гц). Спектр ЯМР ^{19}F (CDCl_3), δ_{F} , м. д.: 22.23 д (2F, HCF_2 , J 53.2 Гц), 36.67 м (CF_2CH_2). Найдено, %: С 50.17; Н 7.51; F 26.83; N 4.87. $\text{C}_{12}\text{H}_{21}\text{F}_3\text{NO}_2$. Вычислено, %: С 50.17; Н 7.37; F 26.45; N 4.88.

1-(4-Метилпиперазин-1-ил)-3-(2,2,3,3-тетрафторпропилокси)пропан-2-ол (4б) получали из 3.7 г (0.04 моль) N-метилпиперазина, 13 мл ацетонитрила, 6.4 г (0.03 моль) оксирана **1б**. Выход 7.9 г (81%), белые кристаллы, т. кип. 172–173°C

(5 мм рт. ст.). ИК спектр, ν , см^{-1} : 3199 (O–H), 2807, 2883, 2942 (C–H), 1203, 1229, 1285, 1294 (C–F), 1106, 1166 (C–O–C). Спектр ЯМР ^1H (CDCl_3), δ , м. д.: 2.29 с (3H, NCH_3), 2.40 м [8H, $2(\text{NCH}_2\text{CH}_2\text{N})$], 2.68 уш. с [3H, $\text{CH}(\text{OH})\text{CH}_2$], 3.60 м (2H, 2H, OCH_2CH), 3.90 м (3H, $\text{CF}_3\text{CH}_2\text{OCH}_2\text{CH}$), 5.94 т. т (1H, HCF_2 , J 53.2, 5.0 Гц). Спектр ЯМР ^{19}F (CDCl_3), δ_{F} , м. д.: 21.99 д. т (2F, HCF_2 , J 53.2, 4.5 Гц), 36.51 м (2F, CF_2CH_2). Найдено, %: С 45.81; Н 7.06; F 26.66; N 9.57. $\text{C}_{11}\text{H}_{20}\text{F}_4\text{N}_2\text{O}_2$. Вычислено, %: С 45.83; Н 6.99; F 26.36; N 9.72.

Общая методика синтеза соединений **2в–4в**.

В приемник с амином на кипящей водяной бане медленно по каплям прибавляли оксиран **1в**. Реакционную массу выдерживали на кипящей бане 1 ч, затем охлаждали и отгоняли избыток амина. Остаток перегоняли в вакууме масляного насоса. Соединение **3в** дополнительно перекристаллизовывали из гексана.

1-(Гептиламино)-3-(1,1,2,2,3,3,4,4,4-нонафторбутил)пропан-2-ол (2в) получали из 3.5 г (0.03 моль) *n*-гептиламина и 6.0 г (0.02 моль) оксирана **1в**. Выход 8.9 г (90%) светло-коричневые кристаллы, т. кип. 175–177°C (20 мм рт. ст.), т. пл. 46–50°C. ИК спектр, ν , см^{-1} : 3294 (N–H), 3127 (O–H), 2859, 2933, 2959 (C–H), 1197, 1215, 1233 (C–F). Спектр ЯМР ^1H (CDCl_3), δ , м. д.: 0.88 м (3H, CH_3), 1.39 м [12H, $(\text{CH}_2)_6\text{CH}_3$], 2.24 м [2H, $\text{NHCH}_2\text{CH}(\text{OH})$], 2.62 м (3H, NH, OH, CH_2NCF_2), 2.80 д. д (1H, CH_2NCF_2 , J 12.1, 3.4 Гц), 4.09 м [1H, $\text{CH}(\text{OH})$]. Спектр ЯМР ^{19}F (CDCl_3), δ_{F} , м. д.: 80.71 т.т (3F, CF_3 , J 9.7, 3.2 Гц), 48.96 м (2F, CF_2CF_3), 37.22 м (2F, $\text{CF}_2\text{CF}_2\text{CF}_2$), 35.84 м (CF_2CH_2). Найдено, %: С 42.83; Н 5.61; F 43.48; N 3.46. $\text{C}_{14}\text{H}_{22}\text{F}_9\text{NO}$. Вычислено, %: С 42.97; Н 5.67; F 43.69; N 3.58.

3-(1,1,2,2,3,3,4,4,4-Нонафторбутил)-1-(циклогексиламино)пропан-2-ол (3в) получали из 4.0 г (0.04 моль) циклогексиламина и 8.0 г (0.03 моль) оксирана **1в**. Выход 10.2 г (94%), белые кристаллы, т. кип. 138–140°C (20 мм рт. ст.), т. пл. 71–72°C. ИК спектр, ν , см^{-1} : 3289 (N–H), 3080 (O–H), 2853, 2930 (C–H), 1194, 1212 (C–F). Спектр ЯМР ^1H (CDCl_3), δ , м. д.: 1.15 м (10H, 5CH_2), 2.25 м (5H, CH_2NHCN , OH), 2.52 м (1H, CH_2NCF_2), 2.89 д. д (1H, CH_2NCF_2 , J 12.2, 3.5 Гц), 4.01 [1H, $\text{CH}(\text{OH})$]. Спектр ЯМР ^{19}F (CDCl_3), δ_{F} , м. д.: 80.81 т. т (3F, CF_3 , J 9.6, 3.2 Гц), 49.01 м (2F, CF_2CF_3), 37.20 м (2F,

$\text{CF}_2\text{CF}_2\text{CF}_2$), 35.83 м (CF_2CH_2). Найдено, %: С 41.62; Н 4.88; F 45.78; N 3.75. $\text{C}_{13}\text{H}_{18}\text{F}_9\text{NO}$. Вычислено, %: С 41.61; Н 4.83; F 45.56; N 3.73.

1 - (4 - М е т и л п и п е р а з и н - 1 - и л) - 3-(1,1,2,2,3,3,4,4,4-нонафторбутил)пропан-2-ол (4в) получали из 1.9 г (0.02 моль) N-метилпиперазина и 3.0 г (0.01 моль) оксирана **1в**. Выход 3.0 г (79%), светло-коричневые кристаллы, т. кип. 170–172°C (20 мм рт. ст.), т. пл. 53–55°C. ИК спектр, ν , cm^{-1} : 3118 (O–H), 2812, 2884, 2949 (C–H), 1215 (C–F). Спектр ЯМР ^1H (CDCl_3), δ , м. д.: 2.22 м [2H, $\text{NCH}_2\text{CH}(\text{OH})$], 2.38 с (3H, CH_3), 2.61 м [10H, $\text{N}(\text{CH}_2)_4\text{N}$, CH_2CF_2], 3.73 уш. с (1H, OH), 4.15 м [1H, $\text{CH}(\text{OH})$]. Спектр ЯМР ^{19}F (CDCl_3), δ_{F} , м. д.: 80.72 т. т (3F, CF_3 , J 9.7, 3.1 Гц), 49.17 м (2F, CF_2CF_3), 37.23 м (2F, $\text{CF}_2\text{CF}_2\text{CF}_2$), 35.85 м (CF_2CH_2). Найдено, %: С 38.25; Н 4.62; F 45.72; N 7.38. $\text{C}_{12}\text{H}_{17}\text{F}_9\text{N}_2\text{O}$. Вычислено, %: С 38.31; Н 4.55; F 45.44; N 7.45.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Горбунова Татьяна Ивановна, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4288-1988>

Салютин Виктор Иванович, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1976-7861>

ФИНАНСОВАЯ ПОДДЕРЖКА

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках выполнения государственного задания (№ ААА-А-19-119012290116-9) с использованием оборудования Центра коллективного пользования «Спектроскопия и анализ органических соединений».

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Dai Q., Vurens G.* // *Langmuir*. 1997. Vol. 13. N 16. P. 4401. doi 10.1021/la970323h
2. *Kasai P.H.* // *Macromolecules*. 1992. Vol. 25. N 25. P. 6791. doi 10.1021/ma00051a011
3. *Fultz G.W., Scott O.S., Chen L.S., Eapen K.C.* // *Tribol. Lett.* 1998. Vol. 5. N 4. P. 287.
4. *Zhu J., Liu W., Chu R., Meng X.* // *Tribol. Int.* 2007. Vol. 40. N 1. P. 10. doi 10.1016/j.triboint.2006.01.014
5. *Eapen K.C.* // *Tribol. Lett.* 1997. Vol. 3. N 3. P. 283.
6. *Kasai P.H., Raman V.* // *Tribol. Lett.* 2002. Vol. 12. N 2. P. 117. doi 10.1023/A:1014041824630
7. *Соловьев Д.В., Коломенская Л.В., Родин А.А., Зенкевич И.Г., Лаврентьев А.Н.* // *ЖОХ*. 1991. Т. 61. Вып. 3. С. 673.
8. *Paskovich D., Gaspar P., Hammond G.S.* // *J. Org. Chem.* 1967. Vol. 32. N 3. P. 833. doi 10.1021/jo01278a079
9. *Huang W.-Y., Wang W., Huang B.-N.* // *Acta Chim. Sin.* 1986. N 2. P. 178.
10. *Cirkva V., Ameduri B., Boutevin B., Paleta O.* // *J. Fluor. Chem.* 1997. Vol. 83. P. 151. doi 10.1016/S0022-1139(97)00018-3
11. *Малиновский М.С.* Окиси олефинов и их производные. М.: ГНТИ хим. лит., 1961. С. 254.
12. *Alvarez Núñez F.A., Yalkowsky S.H.* // *Int. J. Pharm.* 1997. Vol. 151. N 2. P. 193. doi 10.1016/S0378-5173(97)04906-5
13. *Альберт А., Сержент Е.* Константы ионизации кислот и оснований. М.: Химия, 1964. С. 136.
14. *Creyf H.S., Van Poucke L.C.* // *Thermochim. Acta*. 1972. Vol. 4. N 6. P. 485. doi 10.1016/0040-6031(72)85039-1
15. *Petrov V.A.* // *J. Fluor. Chem.* 2004. Vol. 125. N 4. P. 531. doi 10.1016/j.jfluchem.2003.11.026
16. *Исикава Н.* Новое в технологии соединений фтора. М.: Мир, 1984. С. 399.
17. *Izumisawa S., Jhon M.S.* // *Tribol. Lett.* 2002. Vol. 12. N 1. P. 75. doi 10.1023/A:1013931707368

Features of Reactions of Available Polyfluoroalkyloxiranes with Amines and Tribological Properties of the Synthesized Aminoalcohols

T. I. Gorbunova^{a,*} and V. I. Saloutin^a

^a I.Ya. Postovskii Institute of Organic Synthesis, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences,
Yekaterinburg, 620108 Russia

*e-mail: gorbunova@ios.uran.ru

Received March 10, 2022; revised March 10, 2022; accepted April 21, 2022

Features of reactions of methyloxiranes containing polyfluoroalkyl substituents with highly basic amines have been studied. As a result of regioselective ring-opening of oxirane, the corresponding amino alcohols were obtained. They were used as friction modifiers. Friction coefficients were measured for 2% solutions of the synthesized amino alcohols in industrial oil.

Keywords: fluorine-containing oxiranes, amines, regioselective ring-opening of oxirane, amino alcohols, tribological properties