

Г. А. Швехгеймер

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ УЛЬТРАЗВУКА
В ХИМИИ ГЕТЕРОЦИКЛИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ**

(ОБЗОР)

Обобщены литературные данные по синтезу и превращениям гетероциклических соединений под действием ультразвукового излучения. Проанализировано влияние ультразвука на протекание органических реакций с участием гетероциклических соединений.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время для определения химических процессов, протекающих под действием ультразвука (УЗ), используют термин «сонохимические реакции», «сонолиз». «Сонохимия» имеет ряд преимуществ перед «фотохимией» или «термохимией». В фотохимических процессах происходит взаимодействие вещества со световыми волнами, обладающими высокой энергией, но это взаимодействие кратковременно. В тепловых процессах вещество может длительно взаимодействовать с источником энергии, но, как правило, это источники энергии более низкого уровня. При использовании УЗ на вещество действуют высокие энергии, возникающие в результате эффекта кавитации (образуются локальные зоны с температурами в несколько тысяч градусов и давлениями в сотни атмосфер). В результате при использовании УЗ, как правило, имеет место ускорение реакции, использование менее жестких условий, уменьшение индукционного периода, сокращение числа стадий, нередко протекание реакций по альтернативному пути, исключение использования инициаторов или промоторов [1].

Систематическое изучение влияния УЗ на реакции органических соединений началось в конце 70-х — в начале 80-х годов нашего столетия. Наибольшее развитие сонохимия органических соединений получила в последние 10—15 лет — в эти годы появилось более 80% публикаций по использованию УЗ в органической химии. Уже проводятся международные симпозиумы [2—4] по физической природе УЗ и его использованию в различных областях науки и техники, издается журнал *Ultrasonics*.

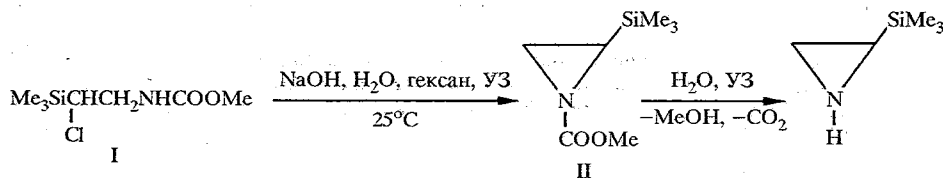
Использованию УЗ в химии посвящен ряд обзоров. Однако практически во всех этих обзорах имеются только отрывочные сведения о гетероциклических соединениях. Только один обзор [5] целиком посвящен рассмотрению основных работ по синтезу и превращениям гетероциклических соединений, появившихся в печати до 1987 г. включительно.

Настоящий обзор включает материал, иллюстрирующий универсальность и перспективность использования метода сонохимии в синтезе и превращениях гетероциклических соединений. Действительно, использование УЗ позволяет проводить гомогенные и гетерогенные реакции различных типов в жидких средах, а также в системах твердое тело—жидкость, как правило, в более мягких условиях и с более высокими выходами, чем по классическим методам.

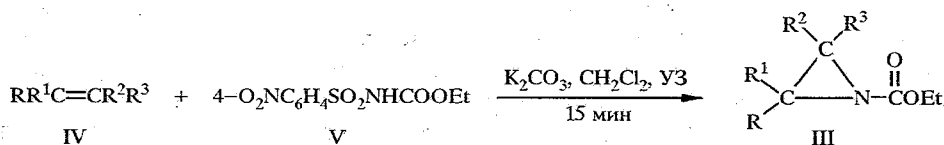
1. ТРЕХЧЛЕННЫЕ ГЕТЕРОЦИКЛИЧЕСКИЕ СОЕДИНЕНИЯ

1.1. Гетероциклы, содержащие азот

Метилловый эфир (I) при облучении УЗ (частота 55 кГц, мощность 100 Вт) циклизуется в 1-метоксикарбонил-2-триметилсилилазиридин (II), который в условиях реакции превращается в 2-триметилсилилазиридин; выход 45% [6]:

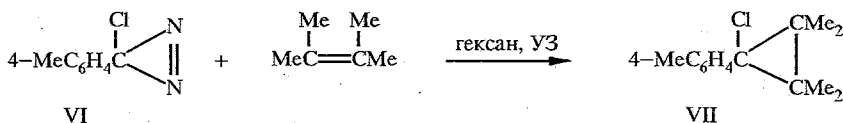


Производные азиридина (III) получены в гетерогенных условиях под действием УЗ (44 кГц, 2000 Вт) в присутствии поташа из алкенов (IV) и эфира (V) с выходами 23...43%. Авторы работы [7] считают, что в реакции промежуточно образуется нитрен NCOOEt.



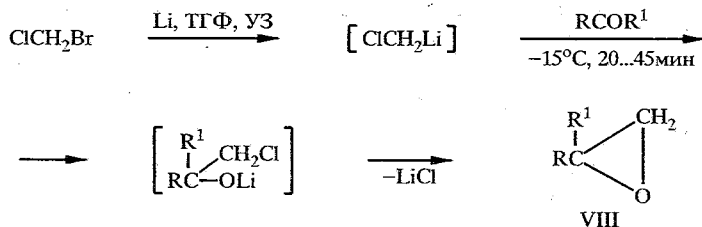
При проведении указанной реакции в условиях межфазного катализа без УЗ время реакции увеличивается в 10 раз.

Из производного диазирина (VI) и 2,3-диметилбутена в условиях сонолиза с выходом 75% образуется замещенный циклопропан (VII) [8]:



1.2. Гетероциклы, содержащие кислород

Сонолиз (60 Вт) ClCH₂Br и лития в ТГФ приводит к ClCH₂Li, который *in situ* реагирует с альдегидами или кетонами, образуя с выходами 70...91% соответствующие эпоксиды (VIII) [8]:

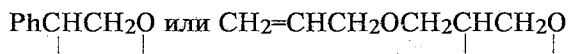


Если реакцию с ацетофеноном проводить при перемешивании без УЗ (4 ч, 20 °С), то выход эпоксида VIII (R = Me, R¹ = Ph) снижается с 82% до 55% [8].

Оксид *транс*-стильбена при взаимодействии с литием в условиях сонолиза в присутствии (4-Me₃CC₆H₄)₂ превращается с выходом 95% в дибензил [10].

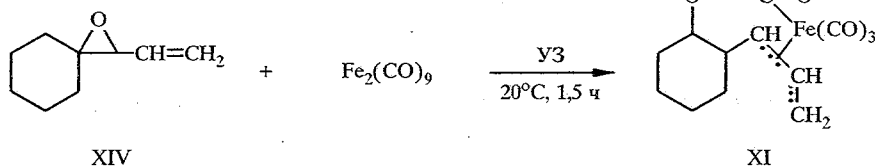
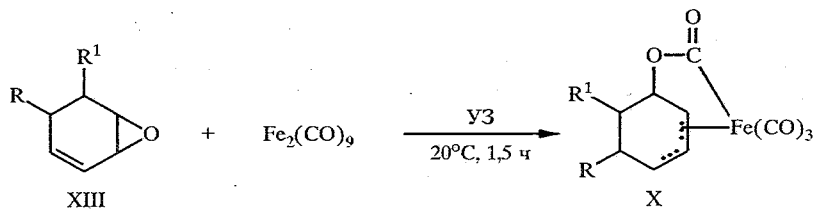
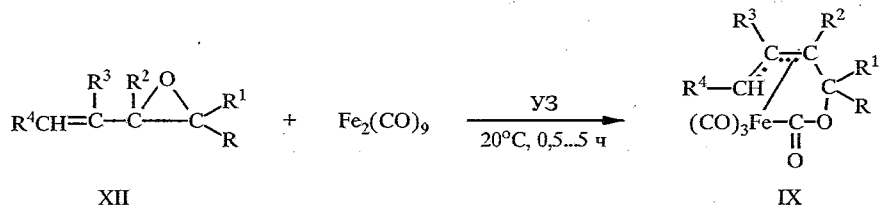
Под действием УЗ из эпихлоргидрина и 4-RС₆H₄SO₂⁻Na⁺ образуются непредельные соединения 4-RС₆H₄SO₂CH=CHCH₂OH (при R = H УЗ 40 кГц, 480 Вт, 25 °С, над Al₂O₃, выход 42%; при R = Me УЗ 20 кГц, 90...100 Вт, 20 °С, ДМФА-H₂O, выход 72%) [12].

Взаимодействие PhSe⁻Na⁺ (образующегося из PhSeSePh и Na при действии УЗ 50 кГц, 80 Вт) с



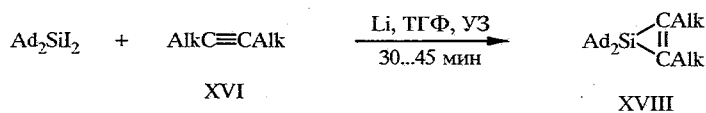
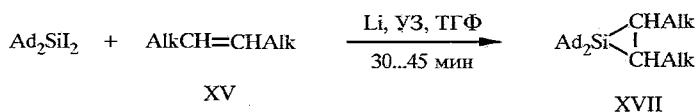
в течение 15 мин приводит к соединениям PhCH(OH)CH₂SePh или PhSeCH₂CH(OH)CH₂OCH₂CH=CH₂ с выходами 78 и 86% соответственно [13].

Серия комплексов π-аллилтрикарбонилжелеза (феррилактонов) (IX—XI) получена с выходами 34...100% из эпоксидов (XII—XIV), содержащих двойную связь, и Fe₂(CO)₉ под действием УЗ (50 кГц, 80 Вт) в PhH или Et₂O [14, 15]:



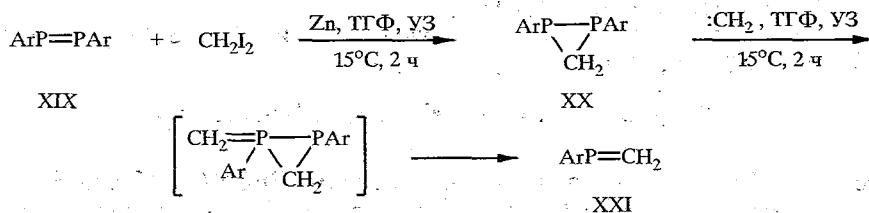
1.3. Другие гетероциклы

При действии УЗ на смесь Ad₂SiI₂ и Li очевидно, образуется кремниевый аналог карбена — Ad₂Si, так как при сонолизе смесей Ad₂SiI₂ и алкенов (XV) или



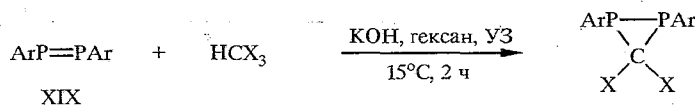
алкинов (XVI) с выходами, 45...87% получены соединения (XVII) или (XVIII), содержащие трехчленный цикл, в состав которого входят два атома углерода и атом кремния [16].

Реакция протекает с алкенами стереоселективно с сохранением их конфигурации [16]. Из дифосфена (XIX) и CH_2I_2 в условиях сонолиза (20 кГц, 600 Вт) в присутствии цинка в ТГФ образуется дифосфиран (XX), который при более длительном воздействии УЗ превращается в фосфалкен (XXI) [17]:

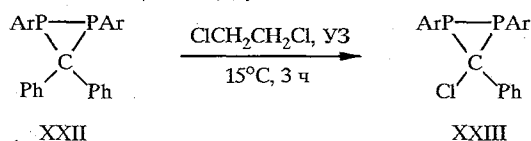


Следует отметить, что циклопропанирование дифосфена XIX не удается провести по Симмонсу—Смиту даже с предварительно активированным цинком [17].

В реакции циклопропанирования вместо CH_2I_2 были использованы также галоформы HCX_3 ($\text{X} = \text{Cl}, \text{Br}$) в присутствии едкого кали и при этом соответствующие дифосфираны были получены с количественными выходами:



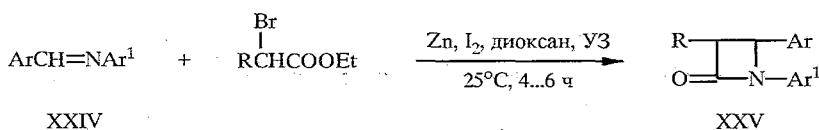
При действии УЗ (20 кГц, 600 Вт) на фосфиран (XXII, $\text{Ar} = 2,4,6\text{-Me}_3\text{C}_6\text{H}_2$) в 1,2-дихлорэтано происходит замещение Ph на Cl без раскрытия цикла; выход продукта замещения (XXIII) составляет 30% [17]:



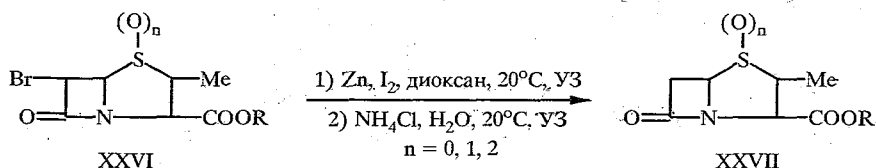
2. ЧЕТЫРЕХЧЛЕННЫЕ ГЕТЕРОЦИКЛИЧЕСКИЕ СОЕДИНЕНИЯ

2.1. Гетероциклы, содержащие азот

По стандартной методике для получения производных β -лактама из $\text{BrCH}_2\text{COOEt}$ и азометинов (оснований Шиффа XXIV) необходимо проводить реакцию длительное время в кипящем толуоле в присутствии Zn и I_2 [18]. Использование УЗ позволяет проводить процесс при 25°C в течение 4...6 ч и получать производные β -лактама (XXV) с выходами 70...95% [19, 20]:

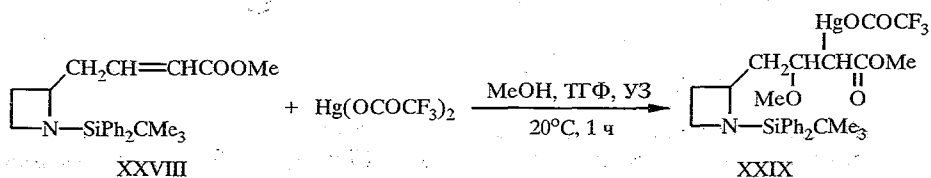


Эфиры 6-бромпенициллановой кислоты (XXVI) в присутствии цинка и йода в условиях сонолиза селективно восстанавливаются с выходами 57...72% до эфиров пенициллановой кислоты (XXVII) [21]:



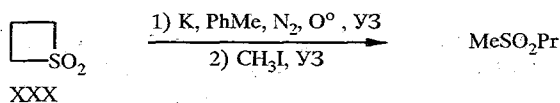
Без УЗ для восстановления бромпроизводного XXVI необходимо использовать большие количества платинового катализатора или Bu_3SnH .

В условиях сонохимической реакции непредельный эфир (XXVIII) реагирует с $\text{Hg}(\text{OCOCF}_3)_2$ с образованием соединения (XXIX) [22]:



2.2. Другие гетероциклы

При действии УЗ (45 кГц, 100 Вт) на металлический калий в толуоле образуется дисперсный калий, который легко расщепляет **циклический** сульфон (XXX) по связи C—S и при введении в реакционную смесь CH_3I с выходом 84% получается метилпропилсульфон [23]:

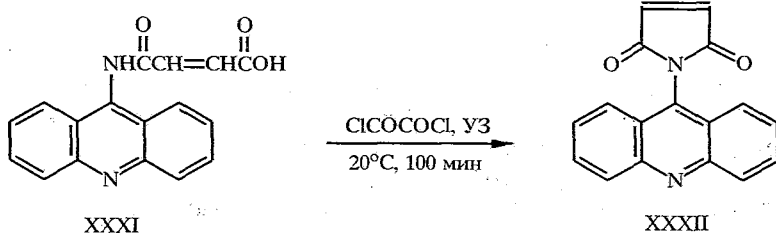


В условиях сонолиза (50...60 кГц, 150 Вт) дифенилдиоксилан в присутствии щелочных металлов с выходом 95% превращается в октафенилциклотетрасилан [24].

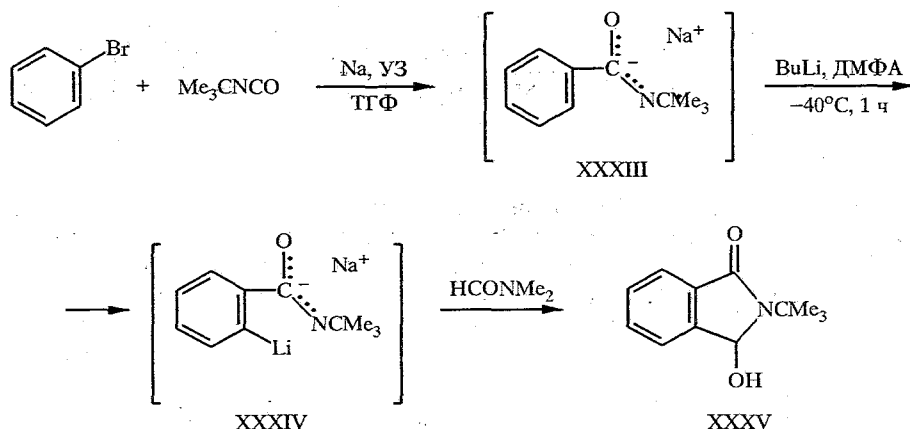
3. ПЯТИЧЛЕННЫЕ ГЕТЕРОЦИКЛИЧЕСКИЕ СОЕДИНЕНИЯ

3.1. Гетероциклы, содержащие азот

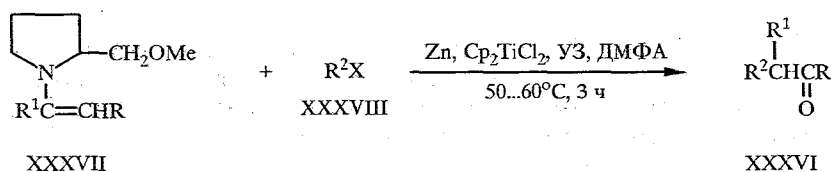
N-Замещенный амид малеиновой кислоты (XXXI) в присутствии оксалилхлорида под действием УЗ циклизуется в N-замещенный пирролидин-2,5-дион (XXXII), выход 34,6% [25]:



Ультразвуковое воздействие на бромбензол и Me_3CNCO в присутствии Na приводит к соли (XXXIII), которая при обработке бутиллитием превращается в литиевое производное (XXXIV), реакция последнего с ДМФА приводит к соединению (XXXV) [26]:



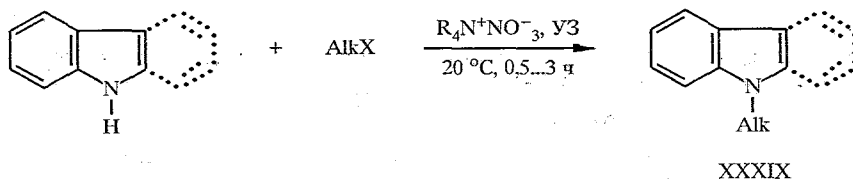
Оптически активные кетоны (XXXVI), содержащие перфторалкильные заместители, образуются под действием УЗ (45 кГц, 100 Вт) из производных пирролидина (XXXVII) и полигалогеналканов (XXXVIII) в присутствии дихлорбис(π -циклопентадиенил)титана [27]:



$\text{R}, \text{R}^1, \text{R}^2\text{X}$, выход XXXVI в %: Et, Me, CF_3I , 38; Et, Me, CF_3Br , 46; Et, Me, $\text{C}_2\text{F}_5\text{I}$, 51; Et, Me, $\text{C}_3\text{F}_7\text{I}$, 48; Et, Me, $\text{C}_4\text{F}_9\text{I}$, 58; $(\text{CH}_2)_4$, $\text{C}_6\text{F}_{13}\text{I}$, 57; Et, Me, $\text{C}_8\text{F}_{17}\text{I}$, 56

В условиях сонолиза (45 кГц, 100 Вт) алкены $\text{RR}^1\text{C}=\text{CR}^2\text{R}^3$ реагируют с 1-бром- или 1-йодсукцинимидом в присутствии NH_4HF_2 и AlF_3 , превращаясь в $\text{RR}^1\text{CFCBr}(\text{I})\text{R}^2\text{R}^3$ и/или $\text{RR}^1\text{CBr}(\text{I})\text{CFR}^2\text{R}^3$ [28].

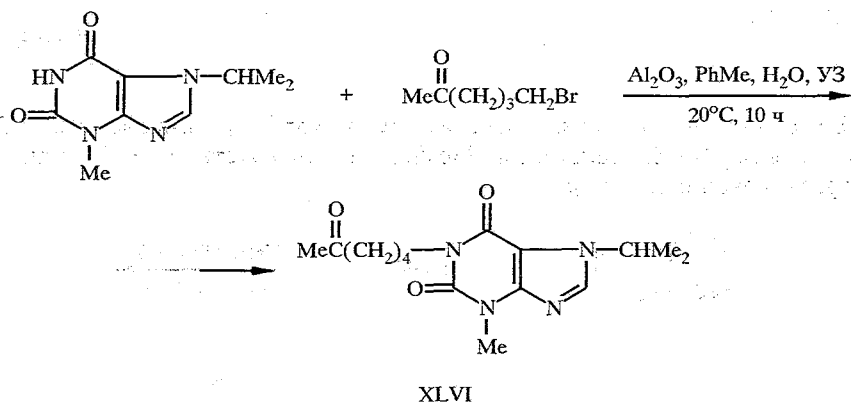
N-Алкилирование индола или карбазола при облучении УЗ (ультразвуковая баня Dawe Instruments) в присутствии межфазных катализаторов $\text{R}_4\text{N}^+\text{NO}_3^-$ ($\text{R} = \text{Bu}, \text{C}_6\text{H}_{13}$) приводит к продуктам (XXXIX) с выходами 60...96% [29]:



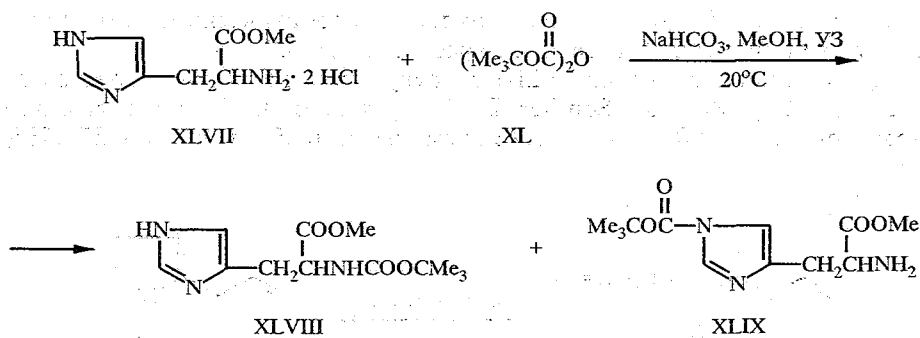
Без УЗ эта реакция протекает 5...72 ч, причем выходы продуктов XXXIX составляют 50...80%. Следует отметить, что в отсутствие межфазных катализаторов алкилирование индола или карбазола не идет ни при перемешивании, ни под действием УЗ [29].

УЗ способствует взаимодействию пролина с ангидридом (XL), и продукт реакции (XLI) образуется с выходом 86% [30]:

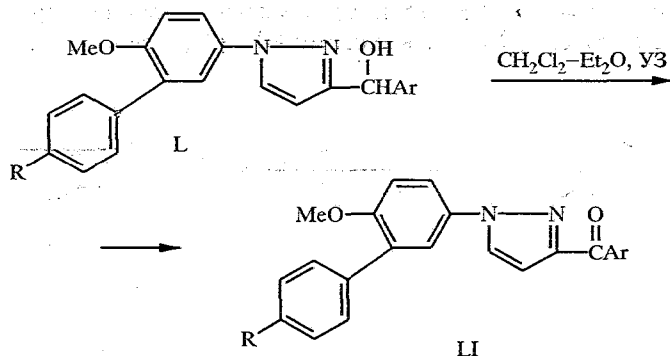
N-Алкилирование 3-метил-7-изопропилксантина 6-бромгексан-2-оном в условиях сонолиза в присутствии оксида алюминия протекает при 20 °С, выход продукта (XLVI) — 87%. [35]:



Бисгидрохлорид (XLVII) в условиях сонохимической реакции реагирует с ангидридом XL, образуя два соединения (XLVIII) и (XLIX) с общим выходом 84%. [30]:

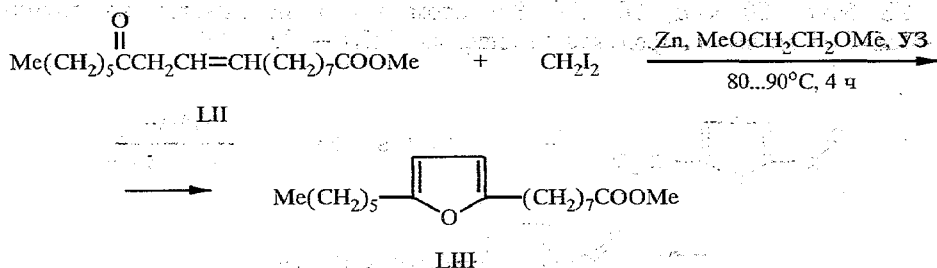


Спирты (L) окисляются до кетонов (LI) с выходами 24...99% хлорхроматом пиридиния в течение 1 ч в ультразвуковой бане Branson (200...400 Вт) [36]:



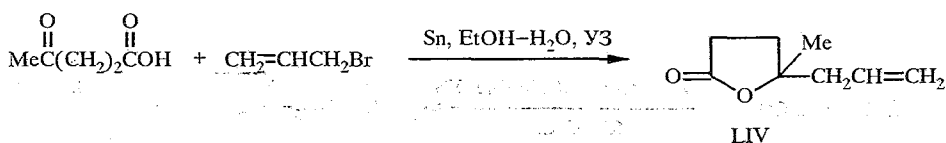
3.2. Гетероциклы, содержащие кислород

Метилловый эфир (LII) реагирует с CH_2I_2 в присутствии цинка и с выходом 46% циклизуется в 2,5-дизамещенный фуран (LIII) под влиянием УЗ (55 кГц, 150 Вт) [37]:

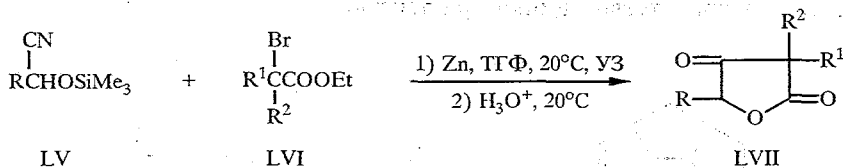


При использовании вместо цинка кобальта выход снижается до 10%. В присутствии меди реакция не идет [37].

Из 4-кетовалериановой кислоты и аллилбромида в присутствии олова под действием УЗ (50 кГц) с выходом 77% получен замещенный бутиролактон (LIV) [38].

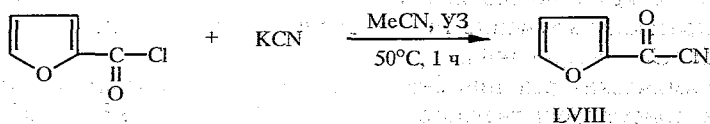


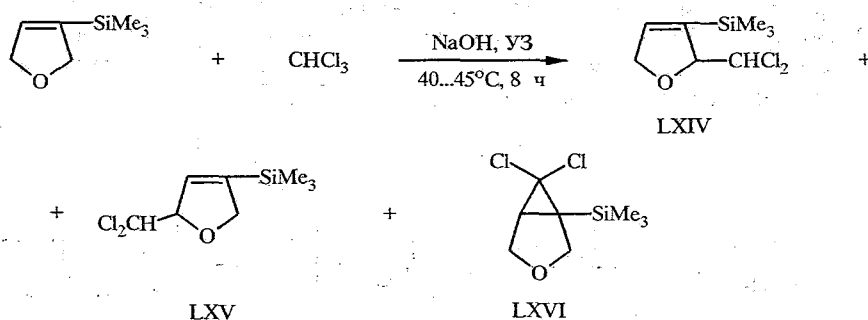
Сонолиз (32 кГц, 35 Вт) эфиров циангидринов (LV) и сложных эфиров (LVI) в присутствии цинка приводит к циклическим соединениям (LVII) с выходами 48...68% [39]:



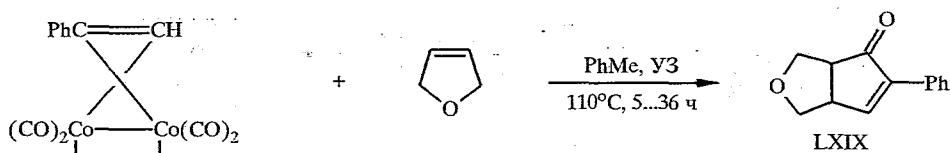
Замещение группы OMe на водород или дейтерий протекает с количественными выходами при обработке в неполярных растворителях 2-метоксидиметилсилил-4,5-дигидрофурана или 2-метоксидиметилсилилтетрагидрофурана LiAlH_4 или LiAlD_4 соответственно под действием УЗ (55 кГц, 100 Вт) при 25°C в течение 2...3 ч. Восстановление не идет без УЗ в неполярных растворителях [40].

При действии УЗ (55 кГц, 100 Вт) успешно протекает синтез ацилцианида (LVIII) (выход 76%) из хлорангидрида пироглиевой кислоты и цианистого калия в ацетонитриле [41]:





Кобальтсодержащие комплексы фенилацетилен (LXVII) и (LXVIII) в условиях сонолиза реагируют с 2,5-дигидрофураном, образуя соединение (LXIX) с выходами 8...45 и 5% соответственно [46]:



LXVII Y = CO, X = CO, PPh₃, PBu₃, P(OPh)₃, P(OMe)₃

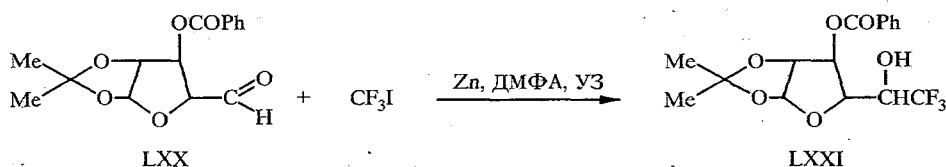
LXVIII X = Y = PPh₃

Особенно большое преимущество сонохимических реакций перед стандартными методами проявляется при использовании магнийорганических или литийорганических соединений. В стандартных методах необходимо применять безводные растворители, проводить реакции в инертной атмосфере (особенно с RLi), использовать активирующие добавки (I₂, MeI). При сонолизе в этих специальных условиях нет необходимости.

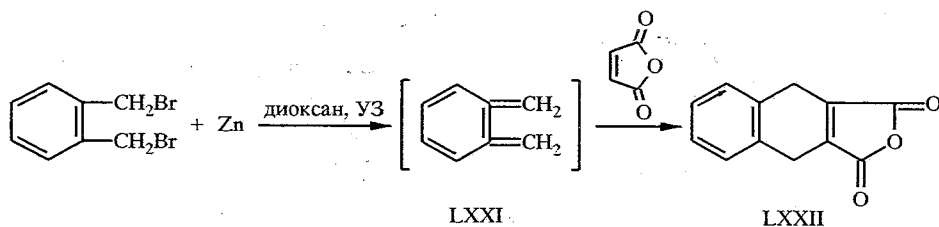
При реакции фурана с бутиллитием, а затем с бензальдегидом в УЗ бане HE 2500 с выходом 72% образуется α-(фурил-2)бензиловый спирт (20 °С, 30 мин, ТГФ) [47].

Конденсацию фурфурола с CH₃I в присутствии Li при использовании УЗ (50 кГц, 60 Вт) можно проводить в обычном ТГФ; выход образующегося через 10 мин α-(фурил-2)этанола количественный [48].

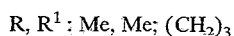
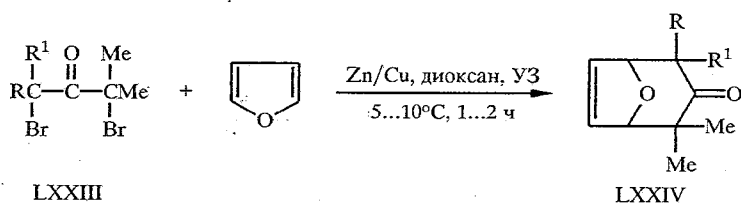
Сонолиз альдегида (LXX) и CF₃I в присутствии цинка в ДМФА приводит к смеси (1 : 2,5) диастереомеров соединения (LXXI) с общим выходом 47% [49]:



При реакции 1,2-ди(бромметил)бензола с цинком под действием УЗ (50...60 кГц, 150 Вт) образуется диметилidenовое производное (LXXI), которое *in situ* реагирует с малеиновым ангидридом, и с выходом 89% получается продукт диенового синтеза (LXXII) [50]:

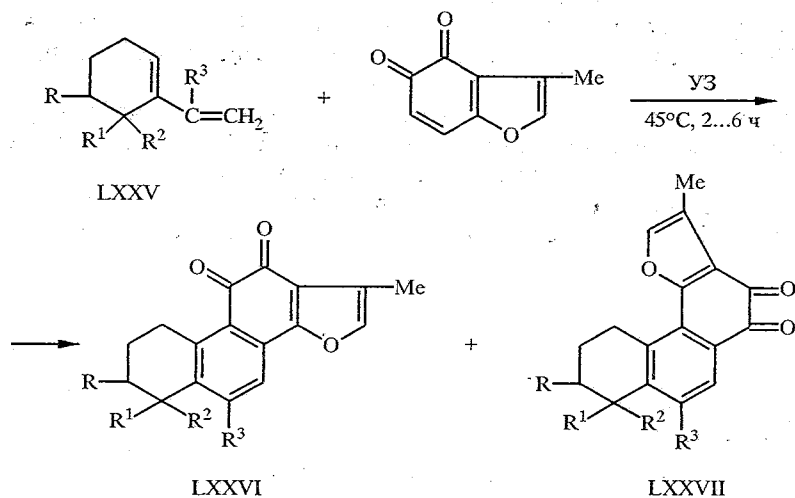


Обработка α, α^1 -дибромкетонов (LXXIII) фураном в присутствии цинка в УЗ бане Branson 220 приводит с выходами 88...91% к бициклическим соединениям (LXXIV) [51]:



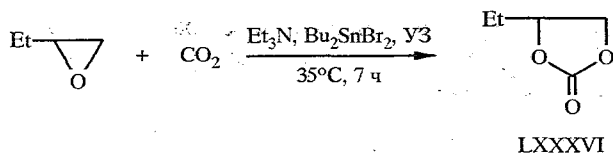
При проведении этой реакции без УЗ (перемешивание в течение 24 ч в присутствии Me_3SiCl) выход соединения LXXIV ($R = R^1 = \text{Me}$) — 60% [51].

В результате реакции диенов (LXXV) с 7-замещенными производными 3-метилбензофуран-4,5-диона под действием УЗ (50...60 кГц, 125 Вт) и последующей ароматизации были получены смеси региоизомеров (LXXVI) и (LXXVII) с общими выходами 56...76% [52—55]:

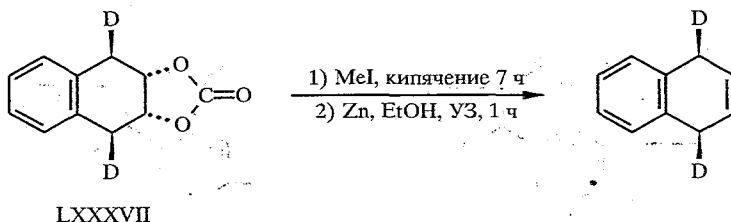


$R, R^1, R^2, R^3 = \text{H}, \text{H}, \text{H}, \text{SiMe}_3; \text{H}, \text{Me}, \text{Me}, \text{H}; \text{H}, -\text{OCH}_2\text{CH}_2\text{O}-, \text{H}; -\text{OCH}_2\text{CH}_2\text{O}-, \text{Me}, \text{H}$ [52]; $\text{H}, \text{COOMe}, \text{Me}, \text{H}; \text{H}, \text{Me}_3\text{CSiMe}_2\text{OCH}_2-, \text{H}; \text{H}, \text{H}, \text{Me}, \text{H}$ [53]; $\text{H}, \text{COOMe}, \text{Me}, \text{H}$ (один изомер XXVII) [54]; $\text{H}, \text{H}, \text{COOMe}, \text{H}; \text{H}, -\text{OCMe}_2\text{CH}_2\text{O}-, \text{H}$ [55]

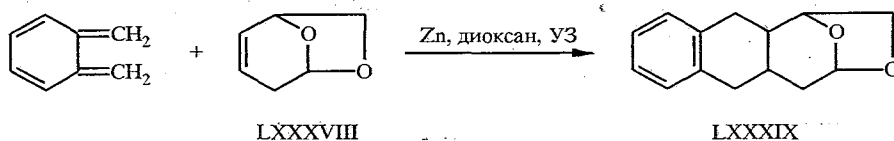
Ангидрид (LXXXVI) синтезирован с выходом 70% реакцией этилоксирана с CO₂-газом в присутствии Et₃N при действии УЗ [57]:



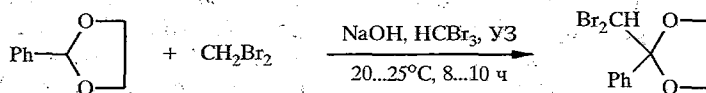
Продукт реакции соединения (LXXXVII) с MeI при обработке цинком в условиях сонолиза стереоселективно превращается в *цис*-1,4-дидейтеро-1,4-дигидронафталин с выходом 59% [58]:



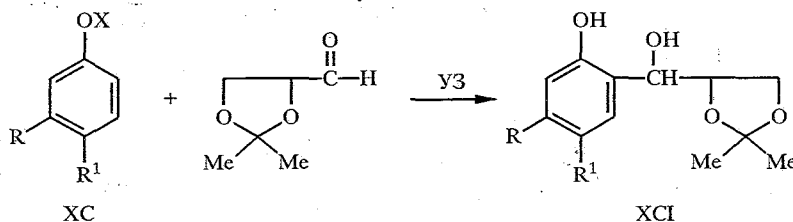
Диметилденное производное, получающееся при действии УЗ (50 кГц) в присутствии цинка на 1,2-ди(бромметил)бензол, реагирует *in situ* с циклоалкеном (LXXXVIII), что приводит к соединению (LXXXIX) [50]:



Необычная реакция галоидалкилирования наблюдается при взаимодействии 2-фенилдиоксолана с CH₂Br₂ в условиях сонохимической реакции (22 кГц, 150 Вт) [59]:

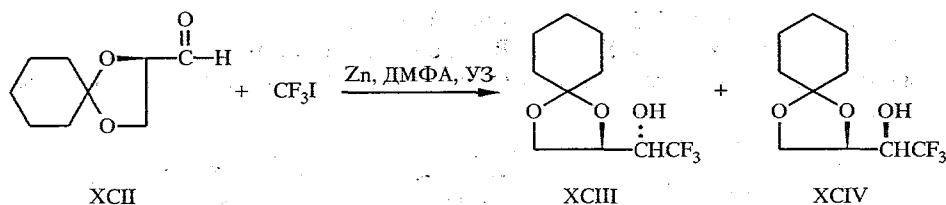


Под действием УЗ (50 кГц) реакция производных фенола (XC) с 2,2-диметил-4-формил-1,3-диоксоланом протекает высокостерео- и -регио-селективно с образованием продуктов конденсации (XCI), выходы 61...76% [60]:

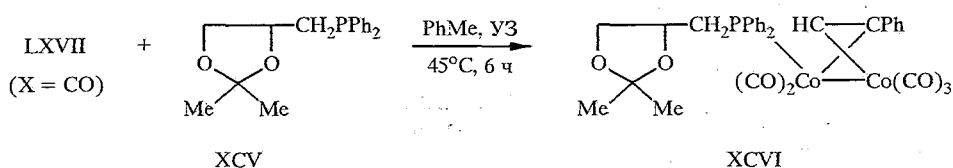


R, R¹, X = H, Me₃C, MgBr⁺; H, Me₃C, Ti(OCHMe₂)₃⁺; H, H, MgBr⁺; H, H, Ti(OCHMe₂)₃⁺; OMe, H, MgBr⁺; OMe, H, Ti(OCHMe₂)₃⁺

Реакция альдегида (XCII) с CF_3I в присутствии цинка в УЗ бане приводит к смеси (3 : 2) диастереомеров (XCIII) и (XCIV) с общим выходом 70% [49]:

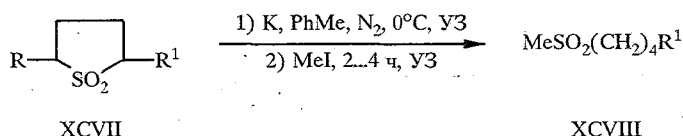


В условиях сонолиза при реакции комплекса LXVII ($\text{X} = \text{CO}$) с производным диоксолана (XCV) одна группа CO замещается на остаток XCV и образуется комплекс (XCVI) с выходом 31% [61]:



3.3. Гетероциклы, содержащие серу

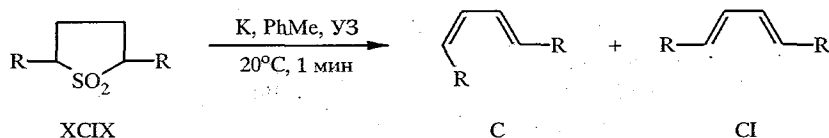
В УЗ бане (50 кГц, 150 Вт) калий в толуоле расщепляет связи $\text{C}-\text{S}$ в сульфоланах (XCVII), и если реакция проводится в присутствии MeI , то с выходами 82...94% образуются сульфоны (XCVIII). Отмечается, что преимущественно расщепляется связь серы с наиболее замещенным атомом углерода [23]:



$\text{R, R}^1 = \text{H, H; H, Me; H, CHMe}_2; \text{H, C}_6\text{H}_{13}; \text{H, PhCH}_2; \text{Me, Me}$

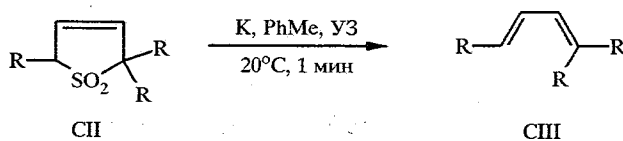
В случае сульфолана XCVII ($\text{R} = \text{H, R}^1 = \text{Me}$) с выходом 8% образуется также сульфон XCVIII с $\text{R}^1 = \text{CHMeCH}_2\text{CH}_2\text{Me}$ [23].

Транс-2,5-диалкил-3-сульфолены (XCIX) при действии калия в УЗ бане (50 кГц, 150 Вт) быстро превращаются в смесь (*E,E*)- и (*E,Z*)-диенов (C) и (CI) с выходами 84...86 и 10...11% соответственно [23]:

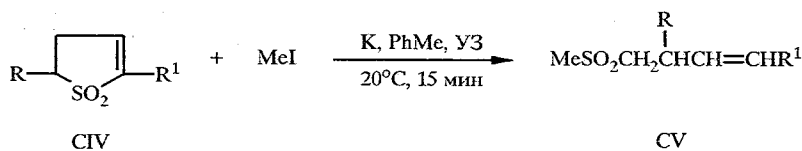


В тех же условиях из (*Z*)-2,5-дигексил-3-сульфоленов с выходом 92% образуется диен СI ($R = C_6H_{13}$) [23]. Без УЗ аналогичное превращение 3-сульфоленов претерпевают за 2 ч при 100...150 °С [62]. При проведении реакции в атмосфере азота общий выход диенов С и СI понижается до 80%, время реакции увеличивается до 30 мин, а селективность повышается: соотношение (*E,Z*) : (*E,E*) становится равным 20 : 1 [62].

При действии калия в УЗ бане Branson 220 на 2,2,5-триалкил-3-сульфолены (СII) образуются только *транс*-диены (СIII) с выходами 90...91% [63]:

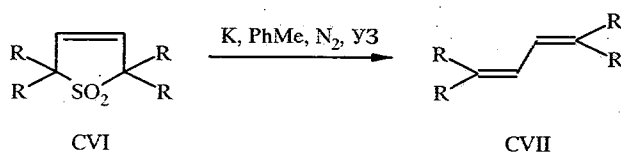


В той же УЗ бане взаимодействие 2-сульфоленов (СIV) с калием в присутствии MeI приводит к непредельным сульфонам (CV) с выходами 40...72% [63]:

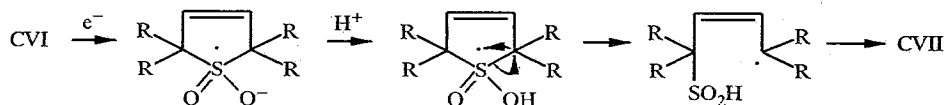


При обработке монозамещенных 2-сульфоленов CIV ($R = H$) калием без УЗ реакция протекает в течение 20 ч только на 5% [63].

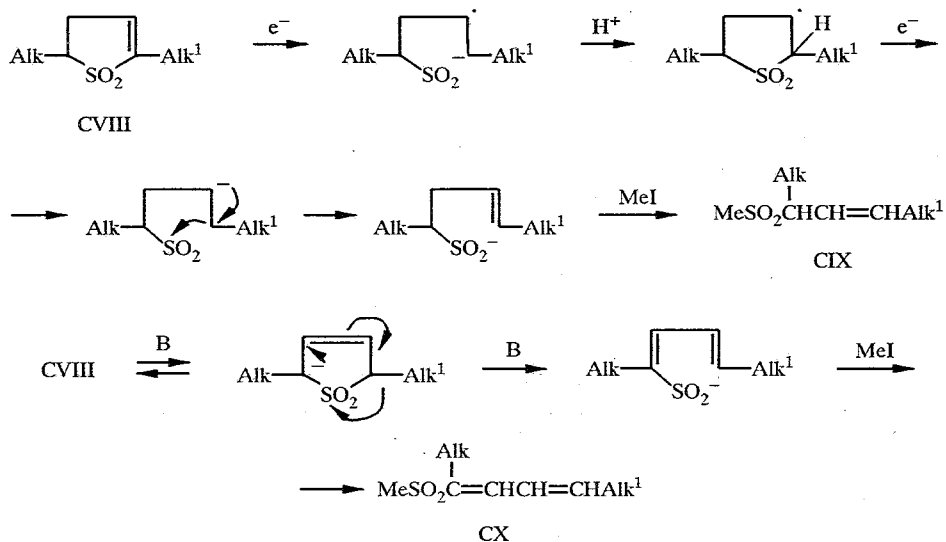
Авторы работы [62] отмечали, что 2,2,5,5-тетразамещенные 3-сульфолены не расщепляются калием в УЗ бане даже при 60 °С в течение 4 ч. Однако позже было установлено, что при действии калия в УЗ бане Т 570/Н в присутствии доноров протонов (H_2O , Me_3COH) 2,2,5,5-тетразамещенные 3-сульфолены (CVI) превращаются в диены (CVII) с выходами 49...92% [64]:



Авторы работы [64] предлагают следующую схему образования диенов CVII:

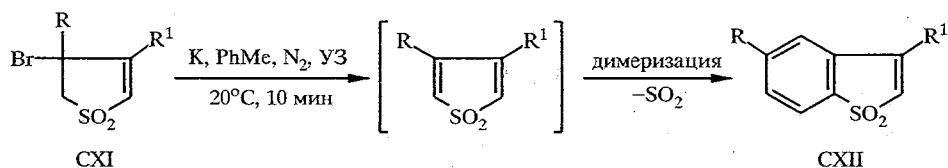


В другой статье [65] те же авторы показали, что при действии калия в УЗ бане Т 570/Н в присутствии MeI и доноров протонов (H_2O , $MeOH$, Me_3COH , $PhOH$, $AcOH$) 3-сульфолены (CVIII) превращаются в непредельные сульфоны (СIX) и (СХ) с выходами 20...88 и 40...72% соответственно и предложили иную схему их образования:



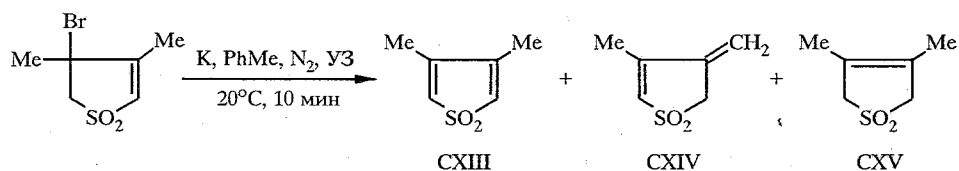
В случаях, когда $Alk = Alk^1 = Bu$ или $Alk = Alk^1 = C_7H_{15}$, кроме продуктов CIX и CX образуются также соответствующие диены $AlkCH=CHCH=CHAlk^1$ с выходами 10,2 и 8,5% соответственно [65].

4-Бром-2-сульфолены (CXI) при обработке калием в УЗ бане (50 кГц, 150 Вт) превращаются в бициклические соединения (CXII) [66]:



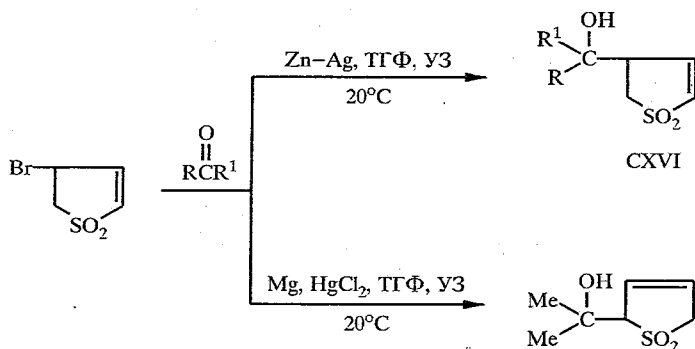
R, R¹, выход в %: H, H, 52; H, Me, 33; H, Cl, 46

Если в сульфолене CXI $R = R^1 = Me$, то образуется смесь трех соединений (CXIII), (CXIV) и (CXV) с выходами 83, 2 и 4% соответственно [66]:

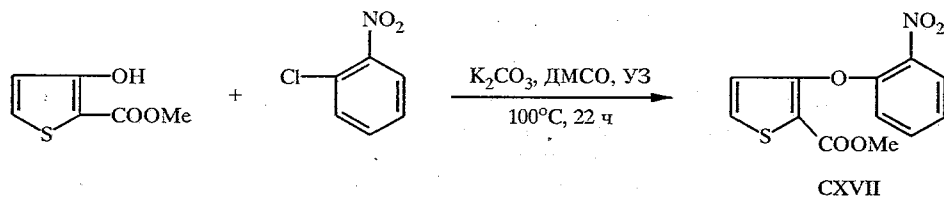


Интересно, что при действии калия в условиях сонолиза на 2,3-дибром-2-метилсульфан идет только реакция дебромирования и с выходом 85% образуется 2-метил-2-сульфолен [66].

Используя УЗ баню (30...50 кГц, 120 Вт) и различные металлы, можно регулировать регионаправленность реакции 4-бром-2-сульфолена с карбонильными соединениями. Так, в присутствии Zn—Ag заместители вступают в положение 4 и образуются соединения (CXVI) с выходами 35...97%. В присутствии же Mg и HgCl₂ замещается водород в положении 2 с изомеризацией двойной связи и с выходом 31% получается 2-(1-метил-1-гидроксиэтил)-3-сульфолен [67]:



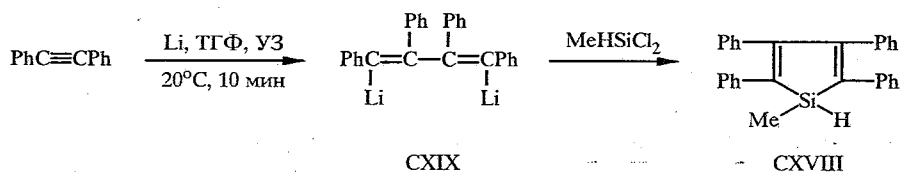
3-Гидрокси-2-метоксикарбонилтиофен реагирует с 2-хлорнитробензолом в УЗ бане Branson (350 Вт) в присутствии поташа с образованием 34% простого эфира (CXVII) [68]:



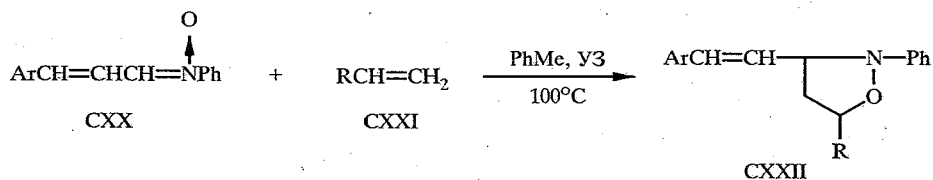
В тех же условиях, но без УЗ эфир CXVII синтезирован лишь с выходом 17% [68].

3.4. Другие гетероциклы

Для синтеза 1-метил-2,3,4,5-тетрафенилсилациклопента-2,4-диена (CXVIII) использовали реакцию MeHSiCl_2 с дилитиевым производным (CXIX). Для получения последнего в стандартных условиях (при перемешивании) требуется 16 ч [69]. Использование УЗ (50...60 кГц, 150 Вт) позволяет получать дилитиевое производное CXIX в течение 10 мин [70]:



Делокализация зарядов в сопряженных нитронах (CXX) является причиной их низкой активности в реакциях 1,3-диполярного циклоприсоединения с неактивированными алкенами (CXXI). Под действием УЗ эти реакции протекают значительно скорее: время взаимодействия сокращается с 34...48 ч (при перемешивании без УЗ) до 50...180 мин; выход продуктов циклоприсоединения (CXXII) составляет 45...81% [71]:

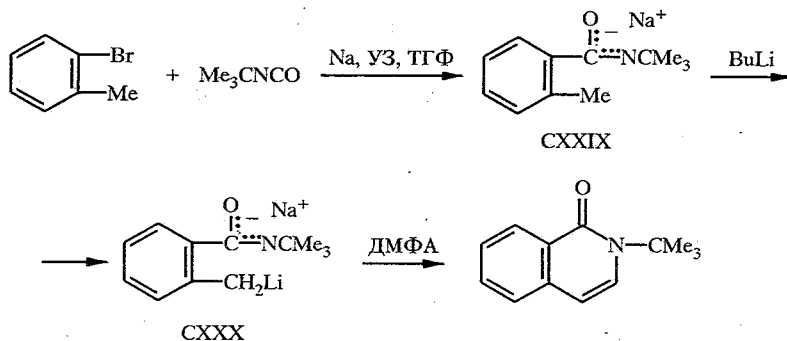


R, Ar: Ph, Ph; фурил-2, Ph; Ph, 4-MeC₆H₄; Ph, 4-ClC₆H₄.

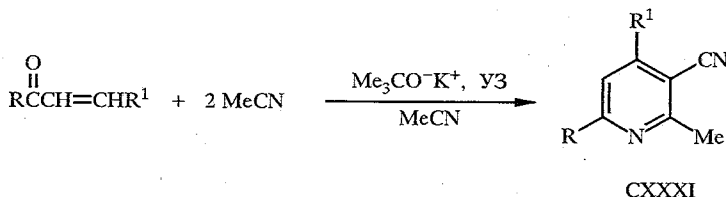
4. ШЕСТИЧЛЕННЫЕ ГЕТЕРОЦИКЛИЧЕСКИЕ СОЕДИНЕНИЯ

4.1. Гетероциклы, содержащие азот

2-Бромтолуол в условиях сонолиза реагирует с Me_3CNCO и натрием с образованием соли (СХХХХ), дающей с бутиллитием соль (СХХХХ), реакция которой с ДМФА приводит к *N*-третбутилизохинолону-1 с выходом 40% [27]:

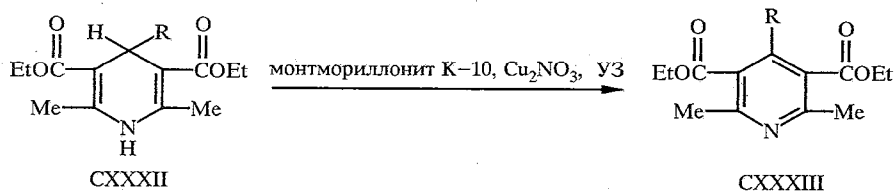


В результате реакции халконов с ацетонитрилом в присутствии третбутилата калия под действием УЗ (47 кГц, 150 Вт) было синтезировано большое число производных пиридина (СХХХХ), содержащих в положениях 4 и 6 арильные, гетарильные или ферроценильные радикалы [76, 77]:



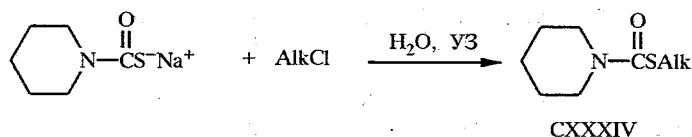
По мнению авторов работы [76], реакция начинается с присоединения по Михаэлю димера ацетонитрила к халконам с последующими дегидратацией и дегидрированием.

Основания Ганча (СХХХХ), содержащие в положении 4 ароматические радикалы или атом водорода, превращаются в производные пиридина (СХХХХ) в стандартных условиях (при перемешивании) в течение 1,5...11 ч с выходами 40...93%. При проведении этой реакции в условиях сонолиза (VC 375 Ultrasonic Processor) время реакции сокращается до 5...10 мин, а выходы продуктов реакции СХХХХ составляют 78...98% [78]:

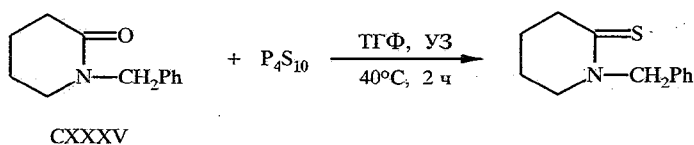


Следует отметить, что если в положении 4 соединений СХХХХ содержатся алкильные радикалы, то ароматизация не идет ни в стандартных условиях, ни под действием УЗ [78].

Принципиально важно использование УЗ при алкилировании солей тиокарбаминных кислот. Обычно эта реакция проводится при повышенных температурах, но образующиеся соли термически неустойчивы и выходы продуктов алкилирования (СХХХIV) за 3 ч при 70 °С составляют 30...53%. При проведении алкилирования под действием УЗ (22 кГц, 45,8±0,1 Вт) удается получить те же продукты с выходами 97,9...99,4% при 50...70 °С за 10...20 мин [79]:

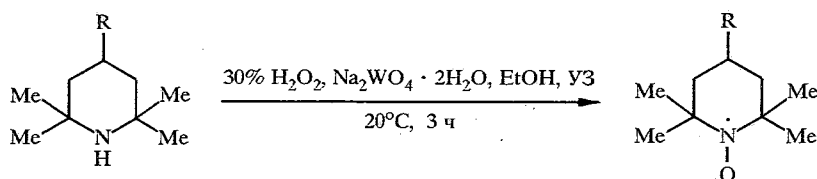


В условиях сонолиза (80 кГц) легко происходит замещение атома кислорода на атом серы при действии P₄S₁₀ на амиды (СХХХV); выход продукта реакции 77% [80]:



При действии BuLi на 2,2,6,6-тетраметилпиперидин в условиях сонохимической реакции (50 кГц, 60 Вт) при 20 °С в течение 15...30 мин образуется соответствующее N-Li производное [47].

Обычно при получении в стандартных условиях N-окисльных радикалов окислением перекисью водорода пространственно затрудненных аминов с длинными липофильными заместителями возникают трудности. Использование УЗ позволяет их преодолеть [81]:

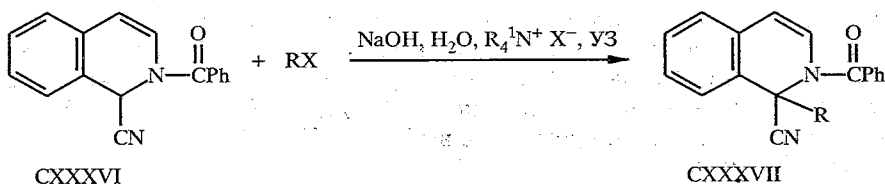


R, выход в %: C₁₇H₃₅COO, 84; 4-C₈H₁₇C₆H₄COO, 38; 4-C₈H₁₇C₆H₄CONH, 63

Сонолиз значительно облегчает введение метильной группы в положение 1 изохинолина действием ДМСО в присутствии NaNH: выход 1-метилизохинолина составляет 72...76% при температуре реакции 20 °С и продолжительности 2 ч [82]. Без УЗ для получения того же продукта с выходом 65...70% требуется энергичное перемешивание реакционной смеси при 70 °С в течение 4 ч [82].

Использование УЗ при алкилировании соединения Райссера (СХХХVI) в присутствии межфазных катализаторов позволяет сократить время реакции с 2 ч до 20...25 мин и повысить выходы продуктов (СХХХVII) с 24...80 до 45...88% [83].

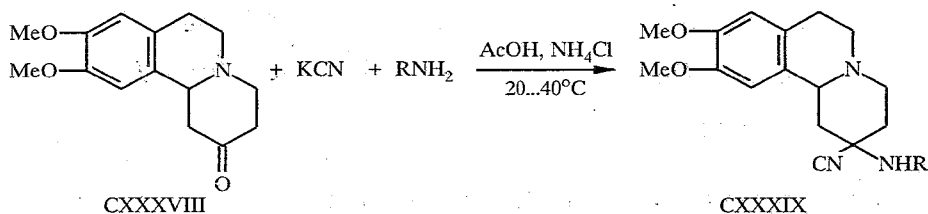
При проведении реакции под действием УЗ исключение составляет реакция соединения СХХХVI с XCH₂COOEt (выход 24%), очевидно, из-за омыления сложноэфирной группы [84]:



R: PhCH₂, 2-ClC₆H₄CH₂, 4-ClC₆H₄CH₂, 2,4-(O₂N)₂C₆H₃, CH₂COOEt; R₄¹N⁺, X⁻: Et₃NCH₂Ph, Cl; Me₃NC₁₆H₃₃, Br; X = Cl, Br

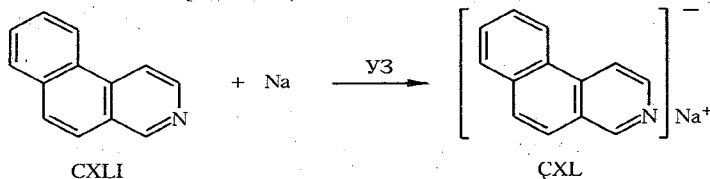
6-Нитрохинолин в условиях сонолиза количественно превращается в 6-аминохинолин при действии гидразина и серы [85].

Установлено существенное влияние УЗ на реакцию Штрекера—Зелинского. Так, при взаимодействии кетона (CXXXVIII) с KCN и аммиаком или аминами под действием УЗ (50...55 кГц, 150 Вт) продолжительность процесса сокращается с 12...13 сут (в стандартных условиях) до 20...35 ч, а выходы продуктов (CXXXIX) повышаются с 60...80 до 81...100% [86]:



Если в стандартных условиях (термически) удается получить четвертичные соли из 10-(феноксикарбонил)акридина только с MeX или EtX, то под действием УЗ можно получить аналогичные соли также и с PrX, Me₂CHX, PhCH₂X [87].

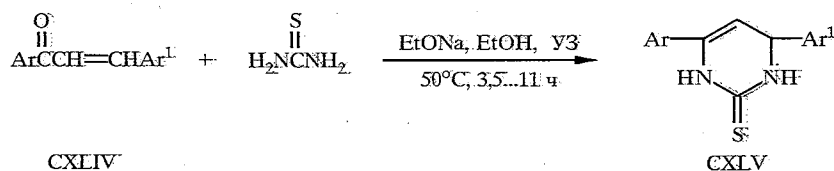
Соль анион-радикала (CXL) в условиях сонолиза образуется из изобензохинолина (CXLI) и Na в течение 15 мин вместо 48 ч при проведении реакции без УЗ [88]:



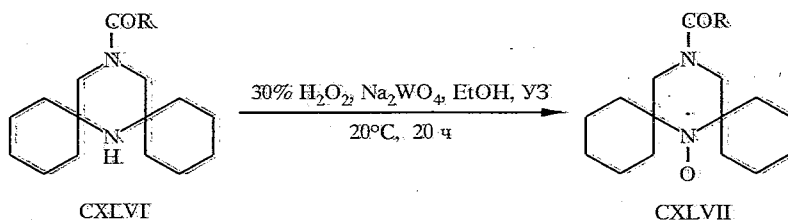
В присутствии пекарских дрожжей под действием УЗ (УЗ баня Branson Sonifier B-30) *o*-замещенные бензонитрила (CXLII) циклизируются с выходами 82...93% в бициклические соединения (CXLIII) [89]:



Обычно при реакции халконов с тиомочевинной наблюдается сильное осмоление и образуются трудноразделимые (часто неразделимые) смеси продуктов. Оказалось, что проведение этой реакции в условиях сонолиза (25 кГц, 160 Вт) дает возможность избежать этих затруднений и из халконов (CXLIV) и тиомочевинны синтезировать производные пиримидин-2-тиона (CXLV) с выходами 58...79%. [90]:



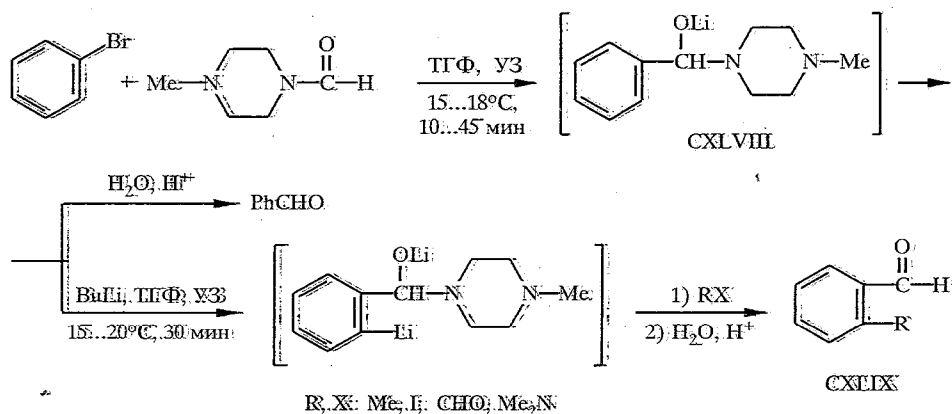
При окислении производных пиперазина (CXLVI) H_2O_2 в присутствии Na_2WO_4 под действием УЗ (20 кГц, 160 Вт) с выходами 58...86% образуются N-окисльные радикалы (CXLVII) [81]:



R: C_8H_{17} , $\text{C}_{17}\text{H}_{35}$; 4- $\text{C}_8\text{H}_{17}\text{OC}_6\text{H}_4$

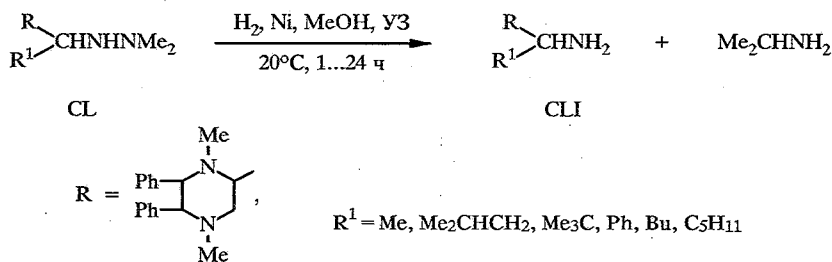
Без УЗ, через несколько недель образуются лишь следы радикалов CXLVII [81].

Бромбензол реагирует с N-метил-N^I-формилпиперазином и литием в условиях сонолиза (в ТГФ или тетрагидропиране — 50 кГц, в Et_2O — 500 кГц), образуя алколят лития (CXLVIII), который при гидролизе превращается в бензальдегид с выходом 75...80%. Если алколят CXLVIII до гидролиза обработать BuLi , а затем электрофильными реагентами, то получают o-замещенные бензальдегиды (CXLIX) [91, 92]:



Изучено действие УЗ на реакцию расщепления производных гидразина (СЛ) в присутствии скелетного никелевого катализатора. При использовании УЗ реакция протекает значительно быстрее и с более высокими выходами (чем в стандартных условиях), нет необходимости работать под давлением (обычно используется H_2 под давлением 3...50 атм), не происходит

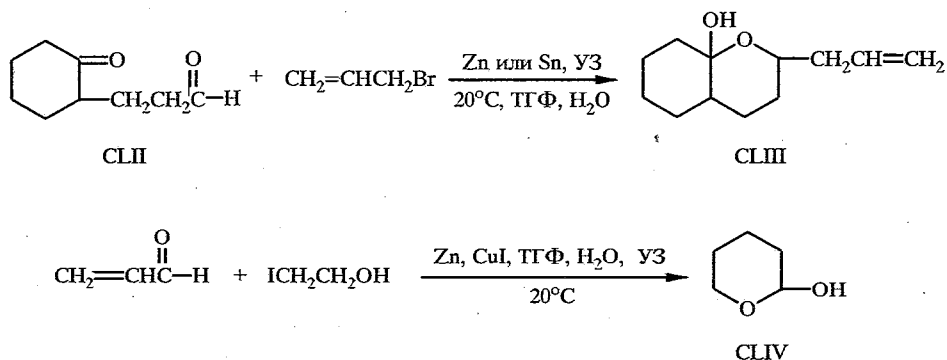
рацемизации при использовании энантиомеров в качестве исходных соединений, не протекает дебензилирование или гидрирование ароматических колец; выходы продуктов реакции (CLI) составляют 66...85% [93]:



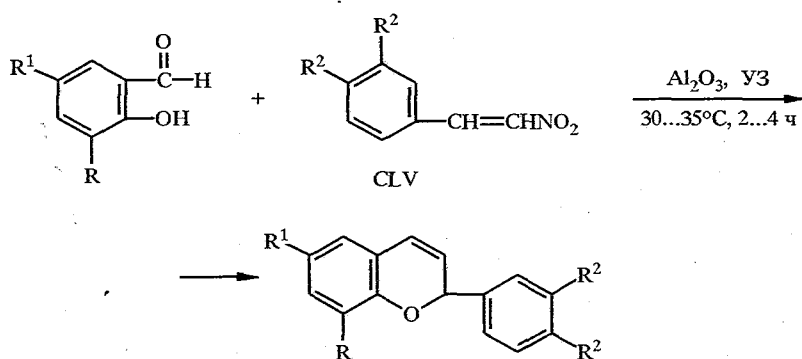
При действии УЗ (50 кГц, 120 Вт) значительно ускоряется реакция циануровой кислоты с формальдегидом и повышаются выходы моно- и диоксиметильных производных. Так, в пиридине при 17 °С через 3 ч выход 1-оксиметилциануровой кислоты составил 95%, а без УЗ при перемешивании и 20 °С через 16 ч — 64%. Выход 1,3-ди(оксиметил)циануровой кислоты под действием УЗ (17 °С, 3 ч) составил 97%, а при простом перемешивании (20 °С, 15 ч) — 85%. Превращение монооксиметильного производного в диоксиметильное производное происходит без УЗ при 20 °С с выходом 96% за 20 ч; под действием УЗ при 17 °С оно заканчивается через 3 ч с выходом 97% [94].

4.2. Гетероциклы, содержащие кислород

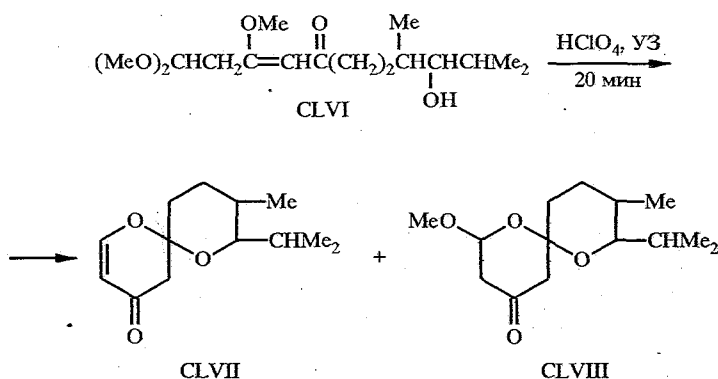
При конденсации кетоальдегида (CLII) с аллилбромидом [95] или 2-йодэтанола с акролеином [96] получены продукты циклизации (CLIII) (выход 55% с Zn и 70% с Sn) или (CLIV) (выход 70%) соответственно; в обоих случаях реакции проводились под действием УЗ (50 кГц, 240 Вт):



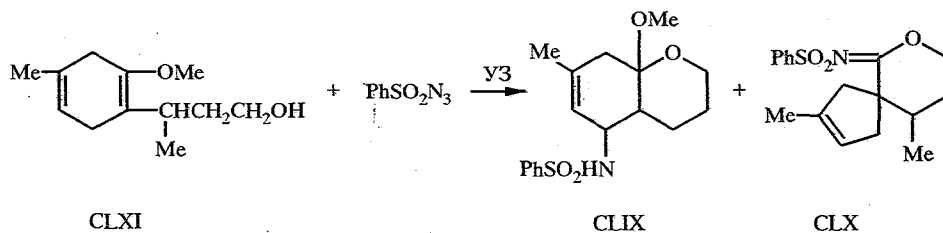
Значительно ускоряется в УЗ бане реакция производных нитроэтилена (CLV) с салициловым альдегидом или его производными в присутствии Al_2O_3 ; выходы продуктов реакции — 36...85% [97]:



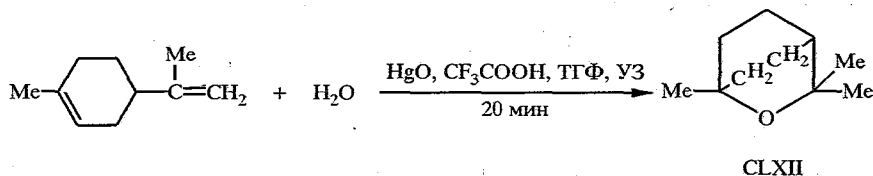
В условиях сонолиза в присутствии HClO_4 соединение (CLVI) циклизуется с образованием смеси (4 : 1) двух соединений (CLVII) и (CLVIII) с общим выходом 63% [98]:



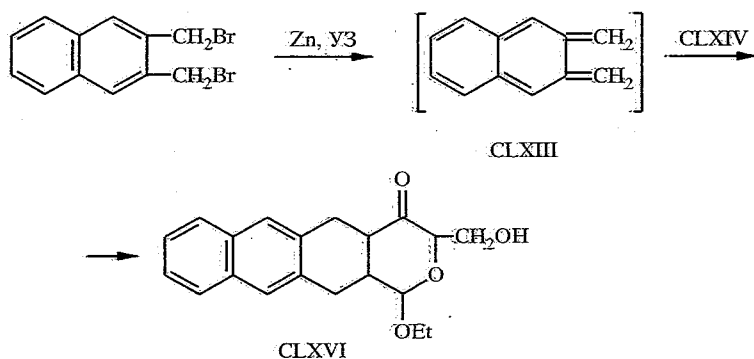
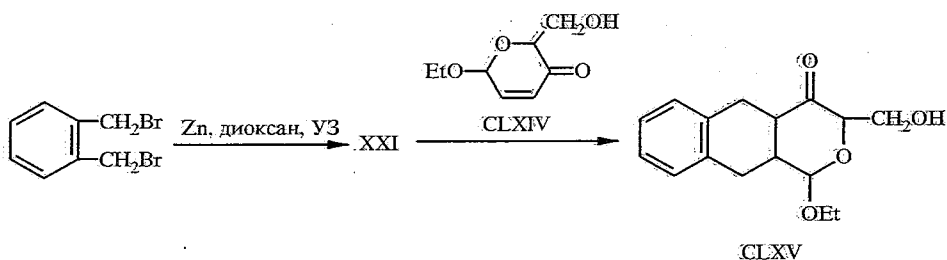
Два продукта (CLIX) и (CLX) получены и при действии УЗ (УЗ баня МЕ 4.6) на смесь производного циклогекса-1,4-диена (CLXI) с PhSO_2N_3 [99]:



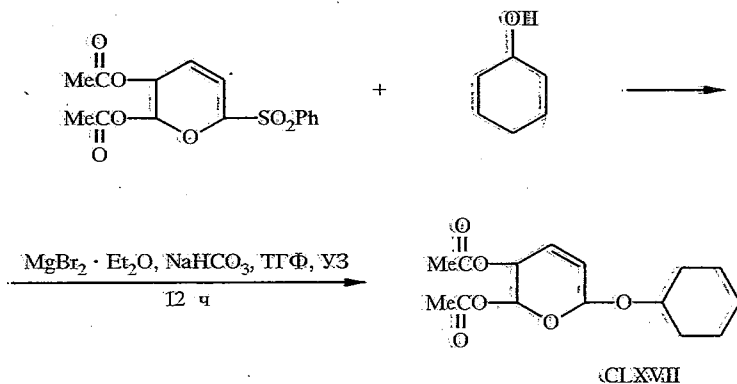
При сонохимической реакции (УЗ баня НЕ 2500) лимонена с водой среди других соединений образуется бициклический продукт (CLXII) (выход 15%) [100]:



1,2-Ди(бромметил)бензол или 2,3-ди(бромметил)нафталин под действием УЗ (50 кГц) превращаются в *o*-ди(метилен)производные LXXI или (CLXIII), которые *in situ* реагируют с соединением (CLXIV) с образованием продуктов циклизации (CLXV) или (CLXVI); выходы 20...30% [101]:

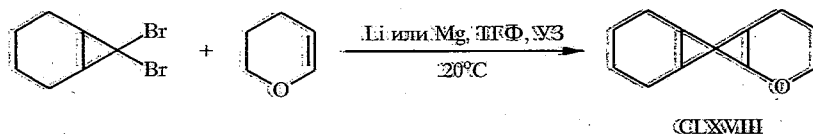


При реакции 2-фенилсульфонил-5,6-ди(метоксикарбонил)-5,6-дигидропирана с циклогексанолом в условиях сонолиза группа PhSO₂ замещается на циклогексилсигруппу и с выходом 77% получается соединение (CLXVII) (без УЗ выход 20%) [102]:



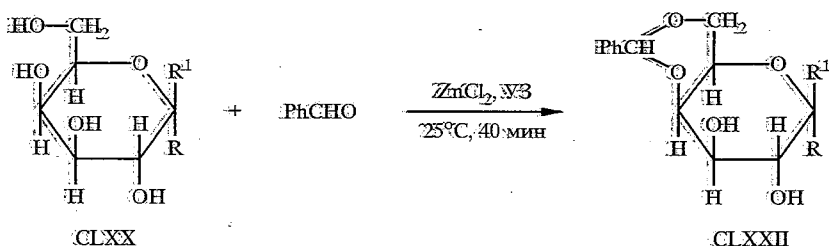
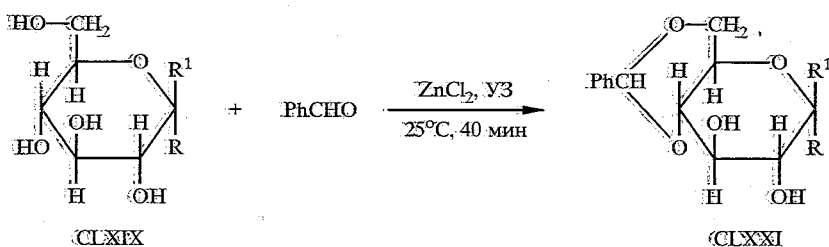
В УЗ бане (125 Вт) осуществлена реакция 5,6-дигидро-4H-пирана с CH₂Br₂ в присутствии сплава Cu—Zn и с выходом 41% синтезирован 2-оксабицикло [4.1.0]гептан [103].

Спиросоединение (CLXVIII) синтезировано в результате сонохимической реакции (20 кВт) 7,7-дибромбицикло [4.1.0]гептана с 5,6-дигидро-4H-пираном [10]:



Под действием УЗ существенно упрощается реакция ацетализации сахаров: значительно подавляются побочные реакции, сокращается время взаимодействия сахаров с карбонильными соединениями, повышаются выходы целевых продуктов, реакция хорошо контролируется.

α -D- и β -D-Глюкопиранозиды (CLXIX) или α -D- и β -D-галактопиранозиды (CLXX) легко реагируют с бенальдегидом в присутствии $ZnCl_2$ в условиях сонолиза (50...60 кГц) с образованием соответствующих циклических ацеталей (CLXXI) или (CLXXII) [105]:

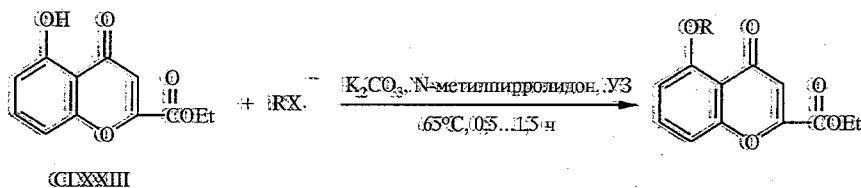


R, R¹, выход (%): MeO, H, 71 и 73; H, MeO, 64 и 74

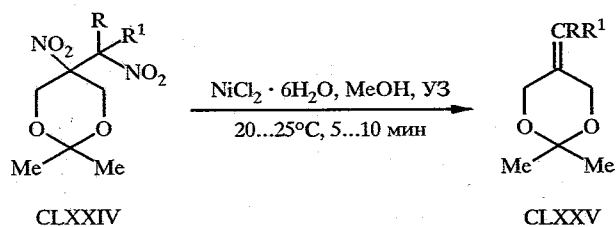
Под действием УЗ значительно лучше протекает и кетализация D-глюкозы, D-галактозы и D-маннозы при их обработке ацетоном или циклогексаном в присутствии конц. H_2SO_4 , соответствующие дикетали образуются с выходами 43...86% в течение 50...60 мин (без УЗ время реакции увеличивается до 18 ч) [106].

При реакции 2-гидрокситетрагидропирана с аллилбромидом в присутствии Zn под действием УЗ (50 кГц) происходит раскрытие цикла и с выходом 79% образуется окт-1-ен-4,8-диол [38].

В УЗ бане (225 Вт) гладко протекает O-алкилирование эфиров (CLXXIII) алкилгалогенидами в присутствии поташа; выходы продуктов алкилирования составляют 88...100% [107]:



Под действием УЗ (50 кГц, 20...40 Вт) из соединений с двумя винильными нитрогруппами (CLXXIV) в присутствии хлорида никеля окисляются обе нитрогруппы и с выходами 89...95% образуются производные 2,2-диметил-1,3-диоксолана (CLXXV) [108]:

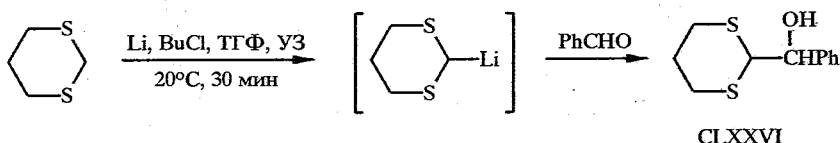


Йод в 4-(2-йодметил)-2-фенил-1,3-диоксане при реакции с PhSe^-Na^+ в условиях сонолиза (55 кГц, 100 Вт) замещается на группу PhSe^- ; выход продукта замещения 84% [12].

4.3. Гетероциклы, содержащие серу

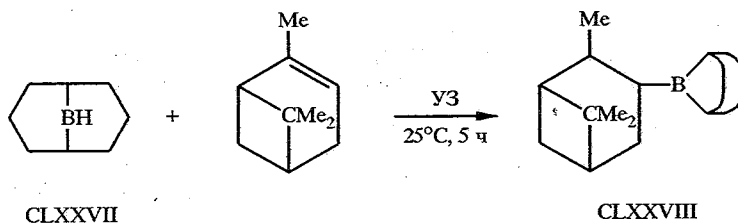
Действием калия на пентаметилсульфон в толуоле в присутствии MeI при облучении УЗ (45 кГц, 100 Вт) синтезирован метилпентилсульфон, выход 91% [23].

В УЗ бане (HE 2500) 1,3-дитиан реагирует с BuLi , превращаясь в 2-литий-1,3-дитиан, который взаимодействует с бензальдегидом; с выходом 98% образуется продукт конденсации (CLXXVI) [47]:



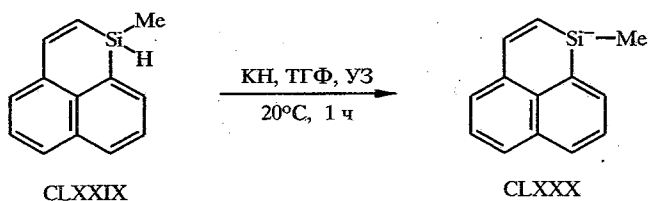
4.4. Другие гетероциклы

Под действием УЗ 9-борбицикло[3.3.1]нонан (CLXXVII) присоединяется к пинену; продукт присоединения (CLXXVIII) образуется с выходом 99% [75]:

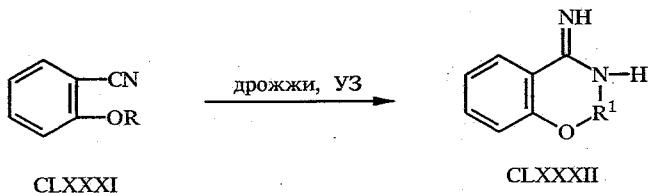


Ранее было отмечено, что при действии Li на диметилдихлорсилан в условиях сонолиза (50...60 кГц, 150 Вт) с выходом 70% получается додекаметилциклогексасилан [24]. Эта реакция была изучена более подробно при действии УЗ мощности 50 Вт и частоты 22 кГц (20 °С, 1 ч, атмосфера аргона); указанный продукт был синтезирован с выходом 73,4% (без УЗ выход 65,8%).

В условиях сонолиза (55 кГц, 150 Вт, ~20 °С) 1-метил-1-силафенален (CLXXIX) образует анион (CLXXX) при обработке гидридом калия [110]:

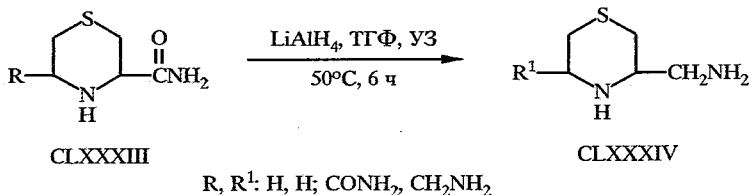


Циклизация нитрилов (CLXXXI) в бициклические соединения (CLXXXII) в присутствии пекарских дрожжей в фосфатном буферном растворе ускоряется при облучении УЗ (баня Branson Sonifier B-30); выходы продуктов циклизации более 80% [88]:



R, R¹: CONH₂, CO; SO₂NH₂, SO₂

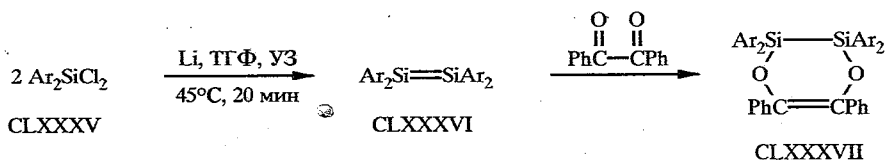
Восстановление группировок CONH₂ в производных тетрагидро-1,3-тиазина (CLXXXIII) LiAlH₄ трудно осуществить из-за плохой растворимости таких соединений в обычно используемых растворителях. Проведение восстановления под действием УЗ (55 кГц, 125 Вт) позволяет проводить эту реакцию в ТГФ и получать продукты восстановления (CLXXXIV) с выходами 60...79,5% [111]:



R, R¹: H, H; CONH₂, CH₂NH₂

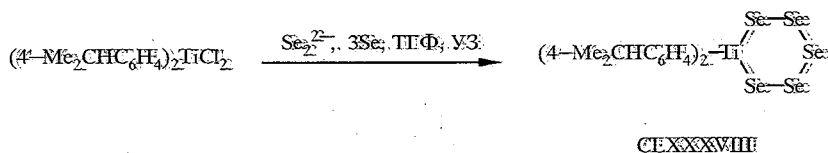
Как отмечалось выше, производные 6H-1,3,4-тиадиазина XLIV (X = S) или 6H-1,3,4-селенодиазина XLIV (X = Se) в условиях сонолиза (25 кГц) превращаются в производные пиразола XLV с выходами 81...90% [34].

По данным авторов работы [112], при действии лития на димезитилдихлорсилан (CLXXXV) в УЗ бане (50...60 кГц, 150 Вт) в ТГФ с выходом 90% образуется тетраметзилсилан (CLXXXVI). Образование соединения CLXXXVI было подтверждено получением из него продукта циклоприсоединения (CLXXXVII) с выходом 38%:



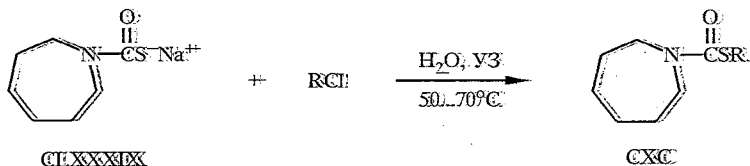
Ar = 2, 4, 6-Me₃C₆H₂

УЗ ускоряет массоперенос у поверхности электродов, в результате повышается скорость электролиза. Используя этот феномен, авторы работы [113] в условиях электролиза под действием УЗ осуществили синтез соединения (СLXXXVIII), содержащего гетероцикл, состоящий из атома титана и пяти атомов селена; выход 82% [113]:



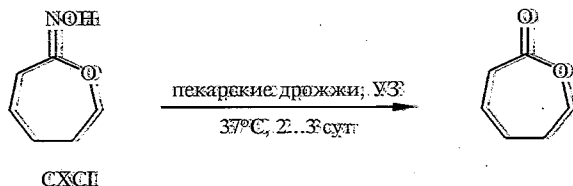
5. СОЕДИНЕНИЯ, СОДЕРЖАЩИЕ В ГЕТЕРОЦИКЛЕ БОЛЕЕ ШЕСТИ АТОМОВ

В условиях сонолиза быстрее и с более высокими выходами протекает S-алкилирование натриевой соли гексаметиленкарбаминовой кислоты (СLXXXIX). Так, при алкилировании последней $\text{C}_2\text{H}_5\text{Cl}$ по действию УЗ (22 кГц, $45,8 \pm 0,1$ Вт) соединение СХС (R = C_2H_5) образуется с выходом 98,4% за 20 мин; без УЗ (при перемешивании в гомогенных условиях) выход того же продукта составил 53,5% через 2,5 ч при 70...75 °С [79]:



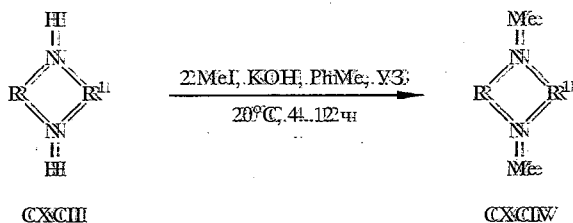
Использование УЗ при полимеризации ϵ -капролактама в присутствии промоторов — аминокислот — при 95...270 °С в течение 3...8 ч позволяет получить нейлон-6 с более высокой молекулярной массой и с меньшей дисперсией степени полимеризации, чем в стандартных условиях [114].

Оксим (СХСИ) при действии УЗ в присутствии пекарских дрожжей в фосфатном буферном растворе (рН 7,2) в течение 3 сут с выходом 94% превращается в капролактон [115]:

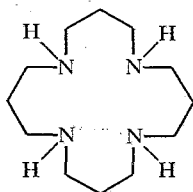


Без УЗ тот же оксим превращается в капролактон с выходом 63% [115].

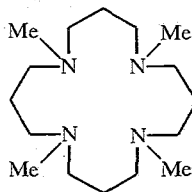
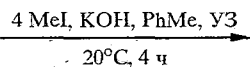
В условиях сонолиза существенно облегчается N-метилирование диазакоронандов (СХСИВ) и циклама (СХСИД); выходы соответствующих продуктов алкилирования (СХСИУ) и (СХСИУ) составляют 92...98% [116]:



R, R¹: (СН₂)₂О(СН₂)₂, (СН₂)₂О(СН₂)₂; СН₂СН₂, (СН₂)₂О(СН₂)₂; o-фенилен, (СН₂)₂О(СН₂)₂; (СН₂)₂ОСН₂СН₂О(СН₂)₂, (СН₂)₂ОСН₂СН₂О(СН₂)₂; 1, 2-С₂Н₄О(СН₂СН₂)₂; 1, 2-С₂Н₄О(СН₂СН₂)₂



CXCIII



CXCIV

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Lindsey J., Mason T. J.* // *Chem. Soc. Rev.* — 1987. — Vol. 16. — P. 275.
2. Sonochemistry Symposium, Warwick University, UK, 8-10 April 1986.
3. Ultrasonic Symposium Proceedings, Vol. 1, McAvoy B.R., Editor (JEEE: Piscataway, N.J.), 1990.
4. Ultrasonic Symposium Proceedings, Vol. 2, McAvoy B.R., Editor (JEEE: Piscataway, N.J.), 1992.
5. *Goldberg Yu., Sturkovich R., Lukevics E.* // *Heterocycles.* — 1989. — Vol. 29. — P. 597.
6. *Lukevics E., Dirnens V., Goldberg Yu., Liepins E., Gavars M., Kalvins J., Shymanska M.* // *Organometallics.* — 1985. — Vol. 4. — P. 1648.
7. *Дирненс В., Гольдберг Ю. С., Лукевиц Е.* // *ДАН.* — 1988. — Т. 298. — С. 116.
8. *Bertram A. K., Liu M. T. H.* // *J. Chem. Soc. Chem. Commun.* — 1993. — N 5. — P. 467.
9. *Einhorn C., Allavena C., Luche J.-L.* // *J. Chem. Soc. Chem. Commun.* — 1988. — N 5. — P. 333.
10. *Karaman R., Fry J. L.* // *Tetrah. Lett.* — 1989. — Vol. 30. — P. 4931.
11. *Villemain D., Alloum A. B.* // *Synth. Commun.* — 1990. — Vol. 20. — P. 925.
12. *Biswas G. K., Jash S. S., Bhattacharyya P.* // *Ind. J. Chem.* — 1990. — Vol. 29B. — P. 491.
13. *Ley S. V., O'Neil J. A., Low C. M. R.* // *Tetrahedron.* — 1986. — Vol. 42. — P. 5363.
14. *Annis G. D., Ley S. V., Self C. R., Sivaramkrishnan R., Williams D. J.* // *J. Chem. Soc. Perkin Trans. I.* — 1982. — N 6. — P. 1355.
15. *Horton A. M., Hollinhead D. M., Ley S. V.* // *Tetrahedron.* — 1984. — Vol. 40. — P. 1737.
16. *Pac D. H., Xiao M., Chiang M. Y., Gaspar P. P.* // *J. Amer. Chem. Soc.* — 1991. — Vol. 113. — P. 1281.
17. *Etemad-Moghadam G., Rifqui M., Layrolbe P., Berlan J., Koenig M.* // *Tetrah. Lett.* — 1991. — Vol. 32. — P. 5965.
18. *Mohan S., Sethi P. S., Kapoor A. L.* // *J. Indian Chem. Soc.* — 1971. — Vol. 48. — P. 685.
19. *Bose A. K., Gupta K., Manhas M. S.* // *J. Chem. Soc. Chem. Commun.* — 1984. — N 2. — P. 86.
20. *Oguni N., Tomago T., Nagata N.* // *Chem. Express.* — 1986. — Vol. 1. — P. 495.
21. *Brennan J., Hussain F. H. S.* // *Synthesis.* — 1985. — N 8. — P. 749.
22. *Dumas F., d'Angelo J.* // *Tetrah. Lett.* — 1986. — Vol. 27. — P. 3725.
23. *Chou T., You M.-L.* // *Tetrah. Lett.* — 1985. — Vol. 26. — P. 4495.
24. *Boujouk Ph., Han B. H., Anderson K. R.* // *Tetrah. Lett.* — 1981. — Vol. 22. — P. 3843.
25. *Ohrui H., Takeyama N., Meduro H.* // *Agric. Biol. Chem.* — 1985. — Vol. 49. — P. 855; *C. A.* — 1985. — Vol. 103. — 87760.
26. *Einhorn J., Luche J.-L.* // *Tetrah. Lett.* — 1986. — Vol. 27. — P. 501.
27. *Kitazume T., Ishikawa N.* // *J. Amer. Chem. Soc.* — 1985. — Vol. 107. — P. 5186.
28. *Ichihara J., Funabiki K., Hanafusa T.* // *Tetrah. Lett.* — 1990. — Vol. 31. — P. 3170.
29. *Davidson R. S., Patel A. M., Safdar A.* // *Tetrah. Lett.* — 1983. — Vol. 24. — P. 5907.
30. *Einhorn J., Einhorn C., Luche J.-L.* // *Synlett.* — 1991. — N 1. — P. 37.
31. *Barett A. G. M., Dauzonne D., O'Neil J. A., Renaud A.* // *J. Org. Chem.* — 1984. — Vol. 49. — P. 4409.
32. Pat. 300440 Ger/ *H. Noack, S. Hartman, E. Rosenfeld, H. Utschick, W. Mueller, K. Gerstenberger* // *C. A.* — 1993. — Vol. 118. — 40824.
33. *Kamal A., Rao M. V., Rao A. B.* // *J. Chem. Soc. Perkin Trans. I.* — 1990. — N 10. — P. 2755.
34. *Pfeiffer M.-D., Bulka E., Meithcher R.* // *Z. Chem.* — 1987. — Bd 27. — S. 296.
35. Pat. 549102 Span / *R. P. Mora* // *C. A.* — 1988. — Vol. 108. — 21611.
36. *Murray W. V., Hadden S. K., Wachter M. P.* // *J. Heterocycl. Chem.* — 1990. — Vol. 27. — P. 1933.
37. *Kieken Tie M. S. F., Lam W. L. K.* // *J. Chem. Soc. Chem. Commun.* — 1987. — N 19. — P. 1460.
38. *Einhorn C., Luche J.-L.* // *J. Organomet. Chem.* — 1987. — Vol. 322. — P. 177.
39. *Kitazume T.* // *Synthesis.* — 1989. — N 10. — P. 855.
40. *Lukevics E., Gevorgyan V., Goldberg Yu.* // *Tetrah. Lett.* — 1984. — Vol. 25. — P. 1415.
41. *Ando T., Kawate T., Yamawaki J., Hanafusa T.* // *Synthesis.* — 1983. — N 8. — P. 637.
42. *Koenig E. E., Weber W. P.* // *Tetrah. Lett.* — 1974. — Vol. 26. — P. 2275.
43. *Mehta G., Rao H. S. P.* // *Synth. Commun.* — 1985. — Vol. 15. — P. 991.
44. *Mehta G., Nair N. S.* // *J. Chem. Soc. Chem. Commun.* — 1983. — N 8. — P. 439.

45. Lukevics E., Gevorgyan V., Goldbeg Yu., Gaukhman A., Gawars M., Popelis J., Shimanska M. // *J. Organomet. Chem.* — 1984. — Vol. 265. — P. 237.
46. Billington D. C., Helps J. M., Pauson P. L., Thomson W., Willison D. // *J. Organomet. Chem.* — 1988. — Vol. 354. — P. 233.
47. Einhorn J., Luche J.-L. // *J. Org. Chem.* — 1987. — Vol. 52. — P. 4124.
48. Luche J.-L., Damiano J. C. // *J. Amer. Chem. Soc.* — 1980. — Vol. 102. — P. 7920.
49. Hamzawa Y., Uda J.-J., Kobayashi Y., Ishido Y., Taguchi T., Shiro M. // *Chem. Pharm. Bull.* — 1991. — Vol. 39. — P. 2459.
50. Han B. H., Boujouk Ph. // *J. Org. Chem.* — 1982. — Vol. 47. — P. 751.
51. Joshi N. N., Hoffmann M. R. // *Tetrah. Lett.* — 1986. — Vol. 27. — P. 687.
52. Lee J., Snyder J. K. // *J. Amer. Chem. Soc.* — 1989. — Vol. 111. — P. 1522.
53. Lee J., Snyder J. K. // *J. Org. Chem.* — 1990. — Vol. 55. — P. 4955.
54. Haira M., Lee J., Snyder J. K. // *J. Org. Chem.* — 1990. — Vol. 55. — P. 5008.
55. Lee J., Li J.-H., Oya Sh., Snyder J. K. // *J. Org. Chem.* — 1992. — Vol. 57. — P. 5301.
56. Fry A. J., Ginsburg G. S., Parente R. A. // *J. Chem. Soc. Chem. Commun.* — 1978. — N 23. — P. 1040.
57. Ninagama A., Suzuki T., Matsuda H. // *Chem. Express.* — 1986. — Vol. 1. — P. 169.
58. Brock M., Hüntze H., Heesing A. // *Chem. Ber.* — 1986. — Bd 119. — S. 3718.
59. Пат. 1641819 / О. Г. Сафеев, О. Г. Оразов, Е. Е. Розожникова, В. В. Зорин, Д. Л. Рахманкулов // *Б. И.* — 1991. — № 14. — 90.
60. Casiraghi G., Corina M., Casnati G., Fava G. G., Belicchi M. F., Zetta L. // *J. Chem. Soc. Chem. Commun.* — 1987. — N 10. — P. 794.
61. Bladon P., Pauson P. L., Brunner H., Eder R. // *J. Organomet. Chem.* — 1988. — Vol. 355. — P. 449.
62. Mock W. L. // *J. Amer. Chem. Soc.* — 1975. — Vol. 97. — P. 3666.
63. Chou T.-S., You M.-L. // *J. Org. Chem.* — 1987. — Vol. 52. — P. 2224.
64. Chou T.-S., Chang S.-Y. // *J. Chem. Soc. Perkin Trans. 1.* — 1992. — N 12. — P. 1459.
65. Chou T.-S., Chang S.-Y. // *J. Org. Chem.* — 1992. — Vol. 57. — P. 5015.
66. Chou T.-S., Chen M.-M. // *Heterocycles.* — 1987. — Vol. 26. — P. 2829.
67. Tso H.-H., Chou T., Hung S.-C. // *J. Chem. Soc. Chem. Commun.* — 1987. — N 20. — P. 1552.
68. Corral C., Lissavetzky J., Valdeolmillos A. M. // *J. Heterocycl. Chem.* — 1985. — Vol. 22. — P. 1349.
69. Leavitt F. C., Manuel T. A., Johnson F., Matternas L. U., Lehman D. S. // *J. Amer. Chem. Soc.* — 1960. — Vol. 82. — P. 5099.
70. Boujouk Ph., Sooriyakumaran R., Han B.-H. // *J. Org. Chem.* — 1986. — Vol. 51. — P. 2818.
71. Borthakur D. R., Sandhu S. // *J. Chem. Soc. Chem. Commun.* — 1988. — N 22. — P. 1444.
72. Berlan J., Besace J., Stephen E., Gresson P. // *Tetrah. Lett.* — 1985. — Vol. 26. — P. 5765.
73. Han S. J., Kim S. H., Chae H. J., Youn B. H., Lyu H. S. // *Bull. Korean Chem. Soc.* — 1987. — Vol. 8. — P. 49; C. A. — 1988. — Vol. 108. — 5920.
74. Tien H.J., Yeh J. Ch., Wu Sh. Sh. // *J. Chin. Chem. Soc. (Taipei).* — 1992. — Vol. 39. — P. 443; C. A. — 1993. — Vol. 118. — P. 80870.
75. Brow H. C., Racherla U. S. // *Tetrah. Lett.* — 1985. — Vol. 26. — P. 2187.
76. Shibata K., Urano K., Matsui M. // *Bull. Chem. Soc. Japan.* — 1990. — Vol. 63. — P. 3710.
77. Shibata K., Katsuyama J., Matsui M., Muramatsu H. // *J. Heterocycl. Chem.* — 1991. — Vol. 28. — P. 161.
78. Maquestian A., Mayence A., Eynde J.-J. V. // *Tetrah. Lett.* — 1991. — Vol. 32. — P. 3839.
79. Валитов П. В., Галияхметов П. Н., Курочкин А. К., Маргулис М. А. // *ЖФХ.* — 1985. — Т. 59. — С. 2973.
80. Raucher S., Klein P. // *J. Org. Chem.* — 1981. — Vol. 46. — P. 3558.
81. Kaliska V., Toma S., Lesko J. // *Collect. Czech. Chem. Commun.* — 1987. — Vol. 52. — P. 2266.
82. Ezquerria J., Alvarez-Builla J. // *Org. Prep. Proc. Intern.* — 1985. — Vol. 17. — P. 190.
83. Ezquerria J., Alvarez-Builla J. // *J. Chem. Soc. Chem. Commun.* — 1984. — N 1. — P. 54.
84. Moon S., Duchin L., Cooney J. V. // *Tetrah. Lett.* — 1979. — Vol. 41. — P. 3917.
85. Gyu J. D., Han B. H. // *J. Korean Chem. Soc.* — 1991. — Vol. 35. — P. 179; C. A. — 1991. — Vol. 115. — 91735.
86. Menedez J. C., Trigo G. G., Sollhuber M. M. // *Tetrah. Lett.* — 1986. — Vol. 27. — P. 3285.
87. Batmanghelich Sh., Woodhead J. S., Smith K., Weeks J. // *J. Photochem.* — 1991. — Vol. 56. — P. 249; C. A. — 1991. — Vol. 115. — 7958.
88. Slough W., Ubbelhode A. R. // *J. Chem. Soc.* — 1957. — N 4. — P. 918.
89. Kamal A., Rao M. V., Rao A. B. // *Heterocycles.* — 1990. — Vol. 31. — P. 577.
90. Toma A., Putala M., Salisova M. // *Collect. Czech. Chem. Commun.* — 1987. — Vol. 52. — P. 395.
91. Einhorn J., Luche J.-L. // *Tetrah. Lett.* — 1986. — Vol. 27. — P. 1791.
92. Einhorn J., Luche J.-L. // *Tetrah. Lett.* — 1986. — Vol. 27. — P. 1793.
93. Alexakis A., Lensen N., Mangeney P. // *Synlett.* — 1991. — N 9. — P. 625.
94. Richard B., Richard M., Lenzi M. // *Bull. Soc. Chim. France.* — 1990. — N 3. — P. 461.

95. *Petrier C., Einhorn J., Luche J.-L. // Tetrah. Lett. — 1985. — Vol. 26. — P. 1449.*
96. *Petrier C., Dupuy C., Luche J.-L. // Tetrah. Lett. — 1985. — Vol. 26. — P. 3149.*
97. *Varma R. S., Kabaika G. W. // Heterocycles. — 1985. — Vol. 23. — P. 139.*
98. *Grimmins M. T., Hollins W. G., Bankaitis-Davis D. M. // Tetrah. Lett. — 1987. — Vol. 28. — P. 3651.*
99. *Goldsmith D., Soria J. J. // Tetrah. Lett. — 1991. — Vol. 32. — P. 2457.*
100. *Einhorn J., Einhorn C., Luche J.-L. // J. Org. Chem. — 1989. — Vol. 54. — P. 4479.*
101. *Chew S., Ferrier R. J. // J. Chem. Soc. Chem. Commun. — 1984. — N 14. — P. 911.*
102. *Brown D. S., Ley S. V., Vile S. // Tetrah. Lett. — 1988. — Vol. 29. — P. 4873.*
103. *Friedrich E. C., Domek J. M., Pong R. Y. // J. Org. Chem. — 1985. — Vol. 50. — P. 4640.*
104. *Xu L., Tao F., Yu T. // Ziran Zazhi. — 1986. — Vol. 9. — P. 315; C. A. — 1986. — Vol. 105. — 225822.*
105. *Chittenden G. J. F. // Rec. Trav. Chim. Pay-Bas. — 1988. — Vol. 107. — P. 607.*
106. *Einhorn C., Luche J.-L. // Carbohydrate Research. — 1986. — Vol. 155. — P. 258.*
107. *Mason T. Y., Lorimer J. P., Turner A. T., Harris A. R. // J. Chem. Res. (S). — 1988. — N 2. — P. 80.*
108. *Madjdabadi A. A., Beugelmans R., Lechevallier A. // Synth. Commun. — 1989. — Vol. 19. — P. 1631.*
109. *Лось Г. П., Зиновьев О. И., Башкирова С. А., Иванов Б. И., Лысова Т. В., Скороходов И. И., Чернышев Е. А., Маргулис М. А. // ЖФХ. — 1990. — Т. 64. — С. 572.*
110. *Sooriyakumaran R., Boudjouk Ph. // J. Organomet. Chem. — 1984. — Vol. 271. — P. 289.*
111. *Еремеев А. В., Нурдинов Р., Поляк Ф. Д. // ЖОрХ. — 1985. — Т. 21. — С. 2239.*
112. *Boudjouk Ph., Han B. H., Anderson K. P. // J. Amer. Chem. Soc. — 1982. — Vol. 104. — P. 4992.*
113. *Gauteron B., Tainturier G., Degrand Ch. // J. Amer. Chem. Soc. — 1985. — Vol. 107. — P. 5579.*
114. *PCT Int. Appl. WO 9118941 / V. Ragzini // C. A. — 1992. — Vol. 116. — 84465.*
115. *Kamal A., Rao M. V., Meshzam H. M. // J. Chem. Soc. Perkin Trans. I. — 1991. — N 8. — P. 2056.*
116. *Jurczak J., Ostaszewski R. // Tetrah. Lett. — 1988. — Vol. 29. — P. 959.*

Московская государственная текстильная
академия им. А. Н. Косыгина, Москва 117918

Поступило в редакцию 22.12.93