

Новые каталитические превращения растительных терпеноидов

Н. Ф. Салахутдинов

НАРИМАН ФАРИДОВИЧ САЛАХУТДИНОВ — доктор химических наук, заведующий отделом химии природных и биологически активных соединений Новосибирского института органической химии им. Н.Н. Ворожцова СО РАН (НИОХ СО РАН). Область научных интересов: химия природных и биологически активных соединений, катализ.

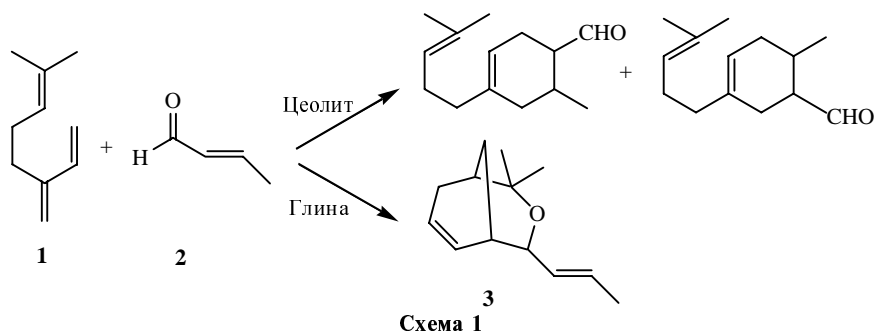
630090 Новосибирск, просп. Академика Лаврентьева, д. 9, НИОХ СО РАН, тел (3832)34-47-33,
E-mail anvar@nioch.nsc.ru

Растительные терпеноиды относятся к классу природных соединений, к которому издавна было приковано внимание многих поколений химиков. Благодаря конформационной гибкости и полифункциональности многие из них легко вступают в большое количество внутри- и межмолекулярных превращений, изучению которых посвящены тысячи работ. Большой вклад в развитие этих исследований внесли и российские ученые — от классических работ В. Е. Тищенко, Г. А. Рудакова, Б. А. Арбузова до современных исследований.

Настоящая статья посвящена новым, часто неожиданным превращениям монотерпеноидов, которые удалось обнаружить при использовании алюмосиликатных катализаторов упорядоченной структуры — синтетических цеолитов и глин. Эти катализаторы могут иметь как кислый, так и основной характер. Большая часть необычных превращений найдена при использовании кислых алюмосиликатных катализаторов. Это объясняется как широкой распространенностью кислотно-катализируемых превращений терпеноидов, так и сложностью синтеза достаточно сильных основных алюмосиликатных катализаторов.

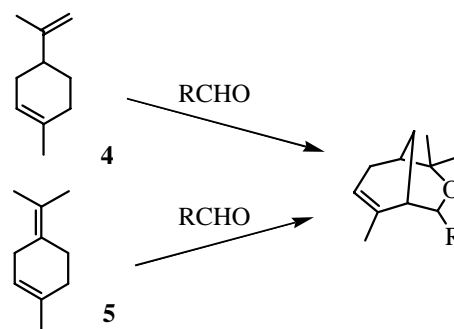
Кислотно-катализируемые превращения терпеноидов

Использование широкопористого кислого цеолита Бета при взаимодействии мирцена **1** с кротоновым альдегидом **2** приводит к образованию стандартных аддуктов реакции Дильса—Альдера (схема 1). Применение в качестве катализатора этой реакции глины асканит-бентонит привело к тому, что в реакционной смеси в качестве основного продукта (56%) неожиданно образуется бициклический эфир **3**. Как видно из схемы, образование эфира **3** сопровождается превращением трех π -связей в три σ -связи и появлением двух новых циклов, то есть процесс подходит под оп-



ределение «гомореакции Дильса—Альдера». Необычность описываемого процесса заключается, во-первых, в том, что триен **1** вступает в гомореакцию Дильса—Альдера путем взаимодействия двух несопряженных между собой двойных связей при наличии в молекуле сопряженных двойных связей; во-вторых, α,β -ненасыщенный альдегид реагирует не по олефиновой двойной связи, как обычно, а по карбонильной группе [1].

Рассмотрение возможных вариантов механизма обнаруженной реакции показало, что она может протекать через образование промежуточных частиц с *n*-ментановым остовом, и мы предположили, что в эту реакцию могли бы вступать соединения, содержащие такой остов.



R = CH₂=CH₂, CH₂CH₂CH₃, C₆F₅, C₆H₅, *n*-HO—C₆H₄

Схема 2

Действительно, дипентен **4** и терпинолен **5** также взаимодействуют с кротоновым альдегидом при комнатной температуре в присутствии глины асканит-бентонит, давая тот же бициклический эфир **3**, что и в случае мирцена, при этом нами показано, что мирцен, дипентен и терпинолен не переходят друг в друга в условиях реакции. Заметим, что в случае диенов **4** и **5** обнаруженную реакцию нельзя классифицировать ни как диено-

вый синтез — из-за отсутствия в диенах сопряженных двойных связей, ни как гомореакцию Дильса—Альдера, так как в результате реакции исчезают только две двойные связи. Обнаруженная реакция имеет общий характер (схема 2) — во взаимодействии с диеном **4** вступают акролеин, α -метилакролеин, масляный альдегид, бензальдегид, перфторбензальдегид,

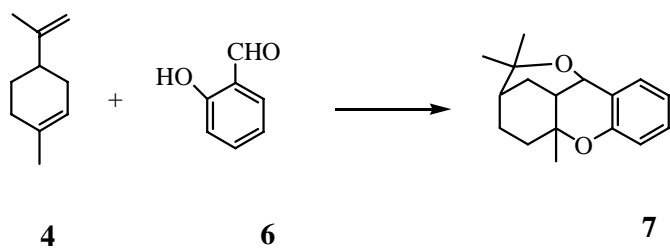


Схема 3

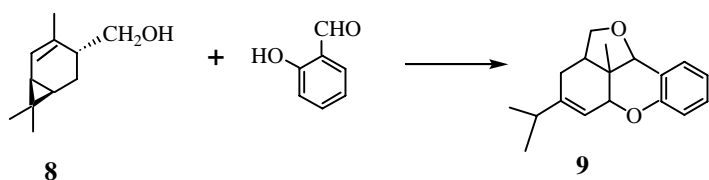


Схема 4

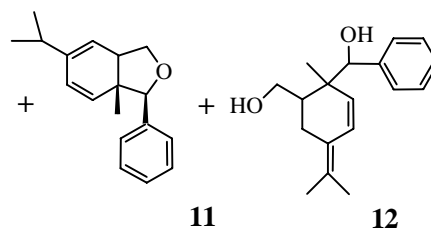
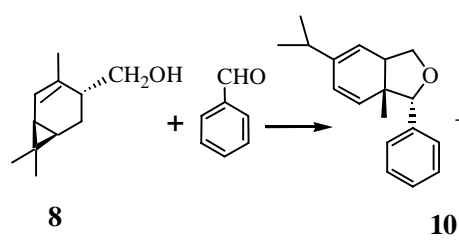


Схема 5

n-оксибензальдегид с образованием соответствующих бициклических эфиров [2].

В то же время при взаимодействии диена **4** с изомером *n*-оксибензальдегида — салициловым альдегидом **6** на глине асканит-бентонит при комнатной температуре реакция не останавливается, как в предыдущем случае, на стадии образования бициклического эфира, а происходит образование соединения с ксантеновым остовом **7** (схема 3).

При взаимодействии транс-4-гидроксиметил-2-карена **8** (вальтерола), который легко получается реакцией Принса из карена, с салициловым альдегидом в присутствии глины асканит-бентонит при комнатной температуре также образуется продукт с ксантеновым остовом, но сочлененным не с тетрагидропирановым кольцом, как в случае соединения **4**, а с тетрагидрофурановым кольцом — соединение **9** (схема 4).

В реакции гидроксиолефина **8** с бензальдегидом на глине асканит-бентонит основным соединением является продукт атаки протонированного бензальдегида на двойную связь вальтерола — соединение **12**. Замещенные тетрагидрофураны **10** и **11** образуются в гораздо меньших количествах (схема 5).

Необычное течение реакции вальтерола **8** с ароматическими альдегидами, приводящее из весьма простых реагентов в мягких условиях к сложным гетероциклическим продуктам, побудило нас исследовать взаимодействие вальтерола с алифатическими альдегидами на глине асканит-бентонит. Оказалось, что такие альдегиды как кротоновый альдегид, акролеин и α -метилакролеин, обладая сравнительно небольшими размерами, способны к тандемной реакции последовательного присоединения двух молекул альдегида к вальтеролу, образуя при этом сложные трициклические диэфиры (схема 6) [3].

Интересные результаты были получены при взаимодействии изомерных по двойной связи гидроксидиенов — 6-гидроксиметилизолимонена **13** и 6-гидроксиметиллимонена **14** с салициловым альдегидом на глине. Весьма незначительные изменения в структуре реагентов приводят к совершенно различным результатам реакции — из соединения **13** образуется ксантен **15**, а изомерное соединение **14** претерпевает необычное превращение, образуя соединение **16** с бицикло[2.2.2]октановым остовом (схема 7) [4].

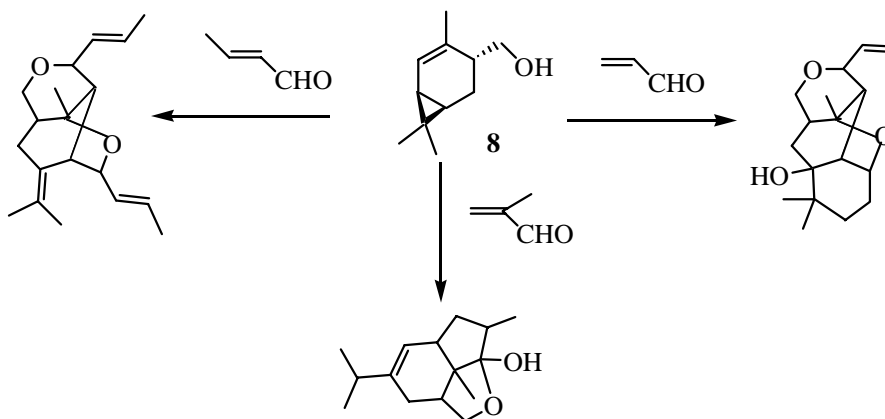


Схема 6

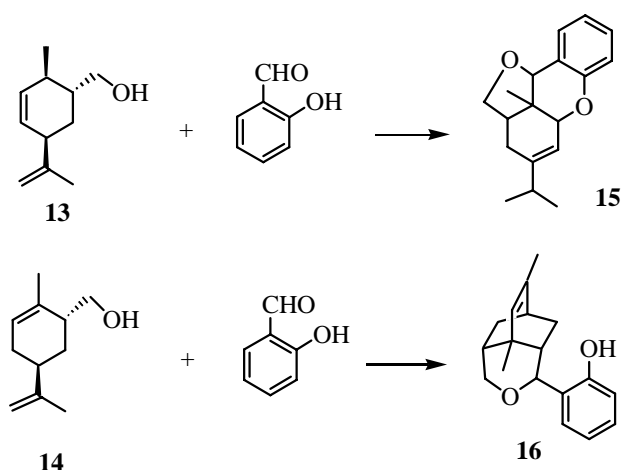


Схема 7

При взаимодействии гидроксиолефина с пинановым остовом — *транс*-вербенола **17**, с салициловым альдегидом наблюдается образование соединения с ксантеновым остовом **18**, но сочлененным, как в случае диена **4**, с тетрагидропирановым кольцом (схема 8). Очевидно, путь реакции, ведущей к различным гетероциклическим системам зависит не только от наличия или отсутствия гидроксигруппы в субстратах, но и от строения конкретного субстрата [5].

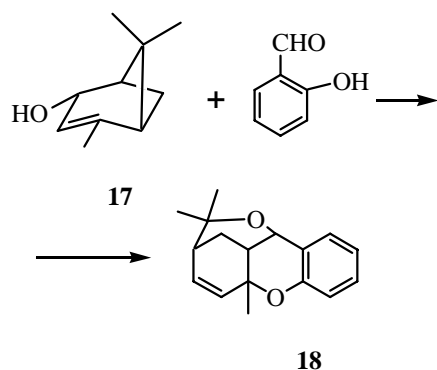


Схема 8

Интересные результаты были получены при взаимодействии терпеновых олефинов с соединениями, содержащими винильную группу. Нами обнаружено необычное взаимодействие аллооцимена **19** с α -метилакролеином на широкопористом цеолите Бета со стереоселективным образованием замещенного циклопентанона **20**, который образуется наряду со стандартными аддуктами диеновой конденсации. Обращает на себя внимание тот факт, что в этой реакции, которую формально можно рассматривать как [3+2]-карбоциклизацию с 1,2-сдвигом альдегидного протона, из трех двойных связей триена **19** участвует лишь одна, две же другие входят в структуру кетона **20** в неизменном виде. Взаимодействие дипентена **4** с α -метилакролеином на цеолите Бета также сопровождается процессом [3+2]-карбоциклизации с образованием замещенного бициклического продукта **21** (схема 9) [6].

При взаимодействии α -метилакролеина с камфеном **22**, который содержит группировку $>C=CH_2$, при-

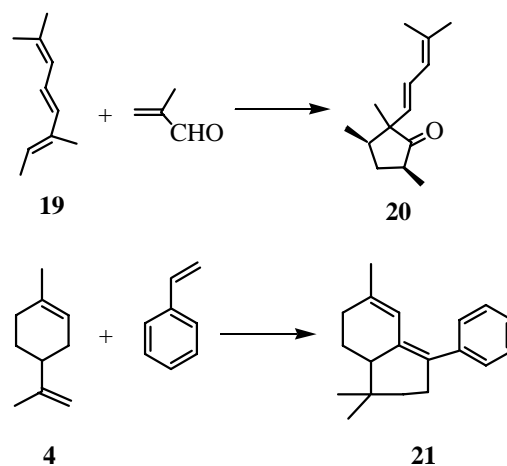


Схема 9

соединенную к алициклическому остову, происходит образование циклопентанового остова с получением трициклического соединения **23**, но реакция идет по иному пути, чем в случае аллооцимена. В отличие от описанной выше реакции в этом случае не наблюдается перемещение альдегидного водорода. Внутримолекулярная стабилизация катионного центра происходит путем его взаимодействия с карбанионным центром, что приводит к образованию нового карбоцикла с альдегидной группой в боковой цепи (схема 10) [7].

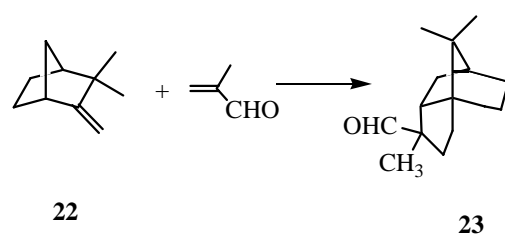


Схема 10

При проведении реакции камфена **22** с формальдегидом на цеолите Бета основным направлением становится не конденсация реагентов, приводящая к стандартным продуктам реакции Принса с неперегруппированным камфеновым остовом, а образование необычных продуктов скелетных перегруппировок — трициклических простых эфиров **24** и **25** (схема 11) [8].

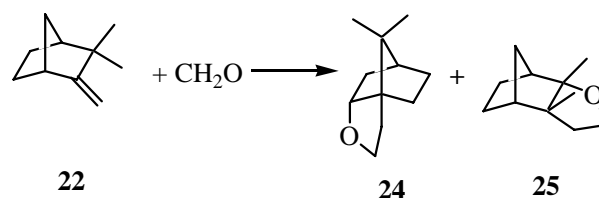


Схема 11

Использование в реакции с камфеном вместо формальдегида иных карбонильных соединений — акролеина или метилвинилкетона на цеолите Бета приводит к образованию продуктов карбоциклизации в минорных количествах. Основную часть реакционной

смеси в этих случаях составляют соединения **26 а** + **27 а** и **26 б** + **27 б** соответственно, представляющие собой попарно смеси геометрических изомеров. Формально последние можно рассматривать как продукты замещения винильного водорода камфена (схема 12). Судя по строению основных продуктов, обсуждаемая реакция наиболее близка к двум хорошо известным процессам — «еновой» реакции и реакции Принса, однако она имеет ряд существенных отличий и поэтому названа нами «псевдоеновым синтезом» [6].

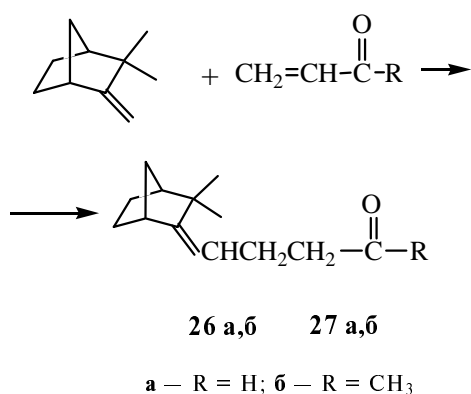


Схема 12

Использование алюмосиликатных катализаторов в реакциях олефинов, имеющих более подвижный, чем в камфене, алильный водород, с енофилами приводит к образованию типичных продуктов еновой реакции. Так, взаимодействие β-пинена **28** с метилвинил-кетонном на цеолите Бета приводит к соединению **29** (схема 13).

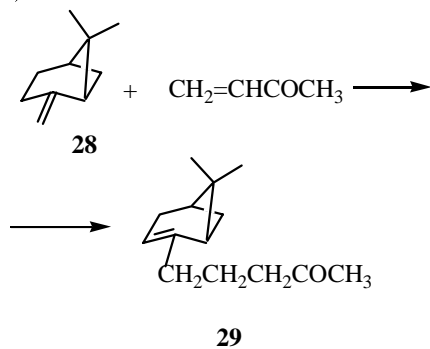


Схема 13

Остановимся далее на реакциях взаимодействия камфена с ароматическими соединениями на цеолитных катализаторах. Реакции этой группы важны, так как многие получающиеся при этом продукты используются далее как интермедиаты для получения душистых веществ. Применение цеолитных катализаторов при алкилировании камфеном монозамещенных бензолов приводит в большинстве случаев к преобладанию в реакционной смеси *para*-изомеров, что указывает на *para*-ориентирующий эффект цеолитов. Анализ реакционных смесей показывает, что с увеличением объема алкильного заместителя в моноалкилбензолах уменьшается суммарный выход продуктов реакции от 60% в случае R = Me до 20% в случае R = *t*-Bu. Основными продуктами во всех смесях являются *para*-

para-изомеры **30 а–г**. Относительное содержание *meta*-изомеров **31 а–г** в смеси возрастает с увеличением объема алкильного заместителя, при этом специальными опытами показано, что *para*- и *meta*-изомеры не переходят друг в друга в условиях реакции. Содержание соединений **32 а–г**, в которых обращает на себя внимание необычное 1,4,7-расположение метильных групп в камфеновом остатке, во всех случаях является минорным (схема 14) [9].

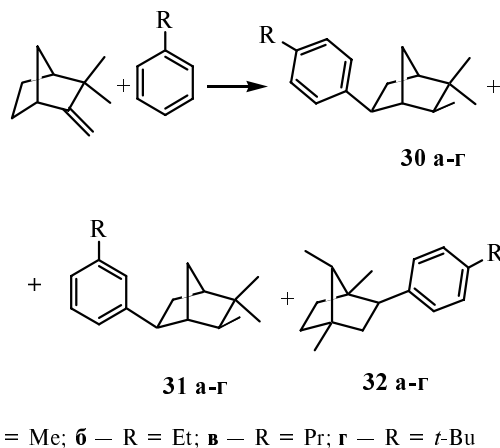


Схема 14

При взаимодействии бензилового **33 а** и β-фенилсилового **33 б** спиртов с камфеном на цеолите Бета происходит реакция O-алкилирования с образованием простых эфиров **34 а–36 а** и **34 б–36 б** соответственно. С целью выяснения влияния заместителей в ароматическом ядре на течение реакции спиртов с камфеном были проведены реакции с замещенными бензиловыми спиртами, содержащими как электроноакцепторный заместитель (*n*-нитробензиловый спирт), так и электронодонорный заместитель (*n*-метоксибензиловый спирт). Было обнаружено, что как в одном, так и в другом случаях отсутствует взаимодействие соответствующих спиртов с камфеном, что свидетельствует, по-видимому, о нивелировании электронных эффектов заместителей в случае проведения гетерогенных реакций. В то же время, введение в *meta*-положение ароматического ядра метильного заместителя, чей электронный эффект в этом положении, как известно, невелик, ускоряет реакцию алкоксилирования камфена с образованием простых эфиров **34 в–36 в** (схема 15) [10].

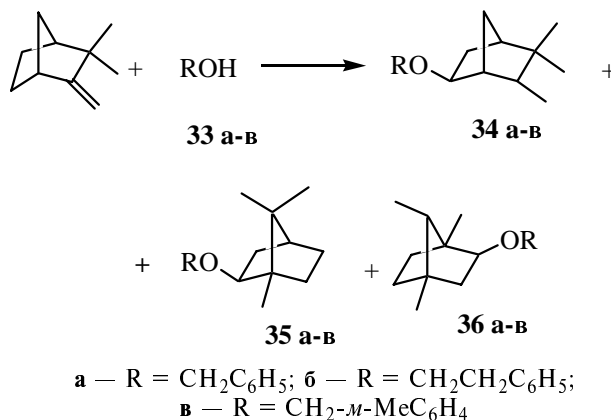


Схема 15

n-Метилбензиловый спирт **37** требует для проведения реакции гораздо более жестких условий и процесс идет по иному пути — образования углеводорода **38**. Введение дополнительных метильных групп в ароматическое кольцо спирта **37** облегчает образование углеводородных соединений. Так, пентаметилбензиловый спирт взаимодействует с камфеном в мягких условиях, давая с хорошим выходом аналог соединения **38** — продукт **39** (схема 16).

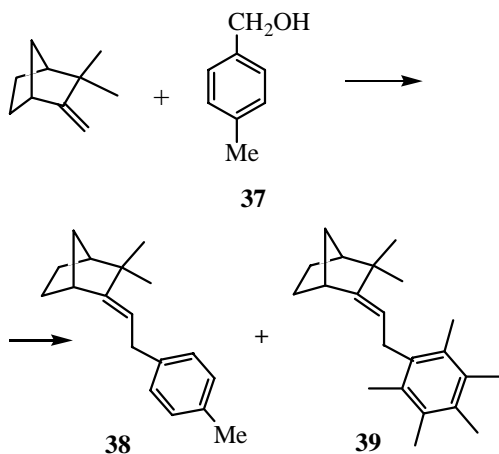


Схема 16

Можно было ожидать, что переход от бензилового спирта к бензгидролу приведет к замене *O*-алкилирования на *C*-алкилирование. Действительно, при взаимодействии бензгидрола **40** с камфеном образуются углеводороды **41** и **42**, причем последний имеет достаточно сложную тетрациклическую структуру. Можно полагать, что в реакциях камфена с бензгидролом **40**, по всей видимости, электрофильной частью является не камфенгидроксион, как в случае взаимодействия камфена с бензиловым спиртом или ароматическими углеводородами, а катион, возникающий из спирта **40** при его протонировании и дегидратации (схема 17).

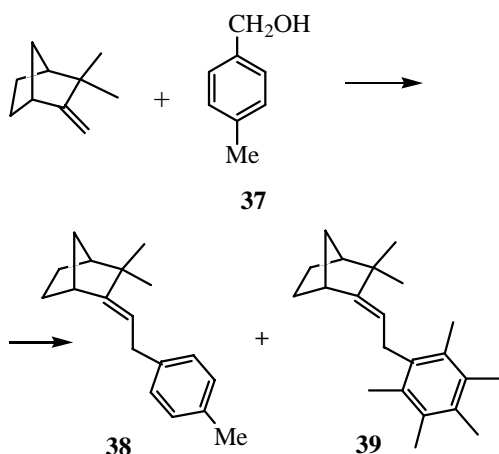


Схема 17

В реакцию с камфеном вступают не только жирноароматические спирты. Так, при взаимодействии аллилового спирта с камфеном образуются два основных продукта **43** и **44**, метанол образует аналогичные соединения, в то время как этанол и пропанол не удается ввести в реакцию (схема 18) [11].

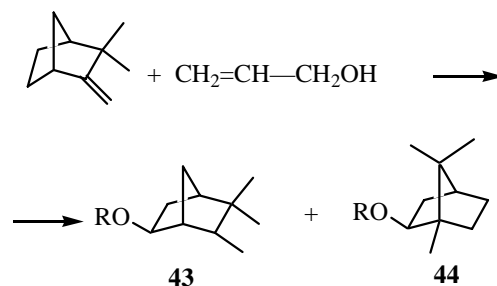


Схема 18

Алкилирование камфеном фенола в условиях проведения перечисленных выше реакций алкилирования (растворитель — CH_2Cl_2 , цеолит Бета, $T_{\text{реакции}} = 20-100^\circ\text{C}$) провести не удалось. Объяснением этого факта могла быть адсорбция молекул фенола на те брэнстедовские центры, которые ответственны за стадию превращения камфена в камфенгидроксион, являющийся атакующей частицей изучаемого процесса. Десорбция молекул фенола может осуществляться либо повышением температуры, либо использованием растворителей, позволяющих «смыть» адсорбированные молекулы с центров, ответственных за протонирование реагента. Действительно, применение в реакции алкилирования фенола камфеном на цеолите Бета вместо метиленхлорида смеси CH_2Cl_2 —бензол (1 : 1, по объему) приводит к образованию терпенилфениловых эфиров **45** и **46**. Изомерные крезолы **47—49** в системе метиленхлорид—бензол также образуют эфиры **50—52**. *m*-Крезол и *n*-крезол, как и фенол, не взаимодействуют с камфеном в метиленхлориде, тогда как *o*-крезол в этих условиях образует продукты замещения в ароматическом кольце — соединения **53—55** (схема 19).

Увеличение количества метильных групп в фенолах при переходе к диметилзамещенным производным приводит к следующим результатам: в отличие от фенола и крезолов, диметилзамещенные фенолы не взаимодействуют с камфеном в системе метиленхлорид—бензол с образованием простых эфиров даже в случае 3,5-диметилфенола — соединения, не имеющего *орто*-заместителей и, соответственно, стерических препятствий для *O*-алкилирования. В метиленхлориде все обсуждаемые субстраты, кроме 2,4-диметилфенола, подвергаются *C*-алкилированию по ароматическому кольцу, причем 2,6-диметилфенол и 2,3-диметилфенол образуют в качестве основных продуктов *пара*-замещения ароматического водорода терпеновым остатком с 1,4,7-расположением метильных групп. 3,5-Диметилфенол подвергается атаке по *орто*-положению, также давая в качестве основного продукта соединения с 1,4,7-расположением метильных групп в алициклическом остове. 2,4-Диметилфенол, имеющий блокированное *пара*-положение, но свободное *орто*-положение, не вступает в реакцию.

Мезитол, 2,3,5-триметилфенол, дуренол и пентаметилфенол не вступают во взаимодействие с камфеном при использовании в качестве растворителей метиленхлорида или системы метиленхлорид—бензол.

Анизол, 2-метиланизол и 3-метиланизол взаимодействуют с камфеном, образуя в качестве основных продуктов *пара*-замещения по отношению к метоксигруппе. В качестве побочных образуются продукты как с 1,4,7-расположением метильных групп в алицикли-

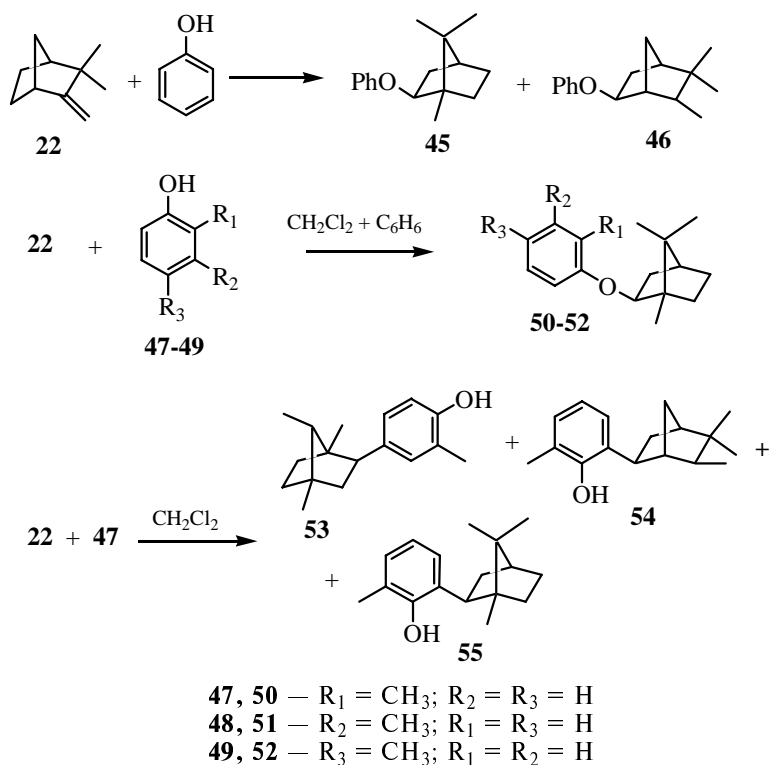


Схема 19

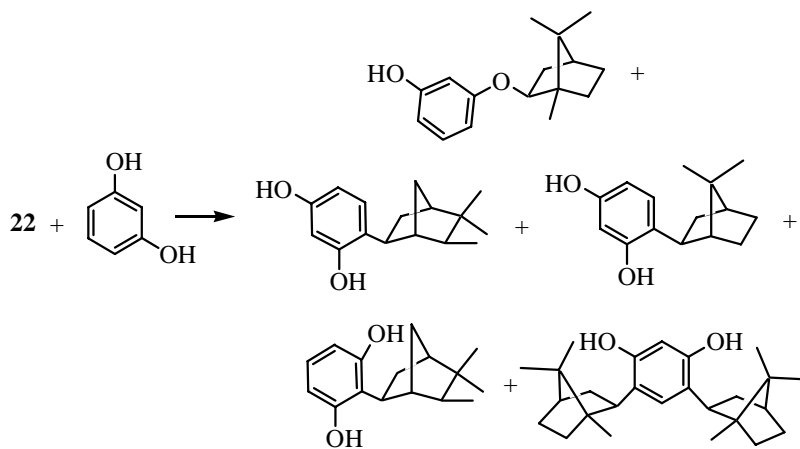


Схема 20

ческой части, так и изокамфильные. 4-Метиланизол не вступает в реакцию в этих условиях [12].

В реакциях камфена с дигидроксибензолами в среде метиленхлорида на широкопористом цеолите Бета образуются продукты как О-алкилирования, так и С-алкилирования фенолов. Помимо этих соединений возможно образование продуктов диалкилирования фенолов как в ароматическое ядро только, так и по атому кислорода и в ароматическое кольцо. В качестве примера на схеме 20 приведены продукты взаимодействия камфена с резорцином [13].

Близкий аналог камфена — α -фенхен реагирует при комнатной температуре на цеолите НВ-2 с фенолом и его метил- и гидроксипроизводными с образованием преимущественно терпенилфенолов изофен-

хильного и 1,4,7-триметилнорборнильного строения, однако выходы этих реакций существенно меньше, чем в случае реакций камфена. Было обнаружено также, что проведение реакций в смеси растворителей метиленхлорид—бензол вместо метиленхлорида не приводит к смене направления реакции от образования терпенилфенолов к образованию терпенилфеноловых эфиров. В реакции α -фенхена с бензальдегидом нами получена смесь эпимерных трициклических простых эфиров **56** и **57**, а также изомерное соединение **58** (схема 21) [14, 15].

Описанные выше превращения показывают, что использование алюмосиликатных катализаторов при проведении различных реакций терпеноидов способны резко расширить палитру реакционной способности этих соединений. Однако имеются терпеноиды, которые вследствие различных причин (малая нуклеофильность олефиновых связей, пространственные препятствия атаке реагента, особенности адсорбции на гетерогенном катализаторе) не образуют активных частиц при использовании алюмосиликатных катализаторов и, как следствие этого, не вступают в дальнейшие превращения. Одним из способов обойти эти препятствия и повысить таким образом реакционную способность субстрата, является эпоксидование олефиновой двойной связи терпеноида. Относительно легкое раскрытие эпоксидного кольца, например, при протонировании позволяет вовлечь в процесс ранее инертные субстраты. Кроме того, при раскрытии эпоксидного кольца в молекуле терпеноида появляется гидроксильная функция, что, как было показано выше, способствует образованию полигетероциклических систем.

Так, было отмечено, что 3-карен не реагирует с альдегидами на глине. В то же время взаимодействие полученного из него *транс*-3,4-эпоксикарана **59** с α -метилакролеином в присутствии глины асканит-бентонит приводит к образованию бициклического альдегида **60**, ацеталя **61** и в

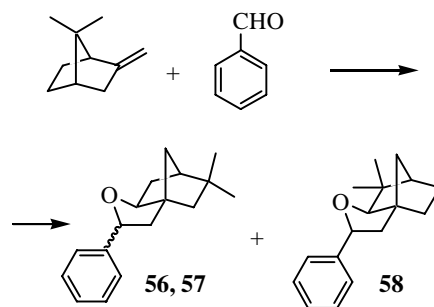


Схема 21

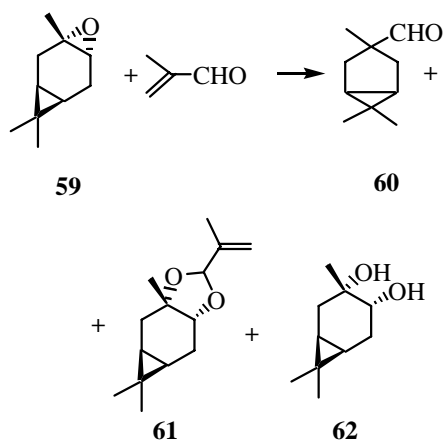


Схема 22

небольшом количестве каран-3 α ,4 α -диола **62** (схема 22) [16].

В некоторых случаях эпоксирирование позволяет углубить протекающие перегруппировки, получая при этом более сложные полигетероциклические соединения. В качестве примера такой реакции можно привести взаимодействие эпоксида α -пинена с салициловым альдегидом в результате которого образуется сложное тетрациклическое соединение **63** (схема 23) [17].

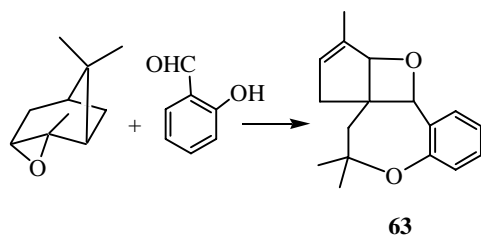


Схема 23

В результате реакции эпоксида β -пинена и акролеина образуется карбальдегид **64**, а также пара изомеров — необычных трициклических спиросоединений **65**, **66**, которые являются продуктами присоединения двух молекул альдегида к эпоксиду (схема 24).

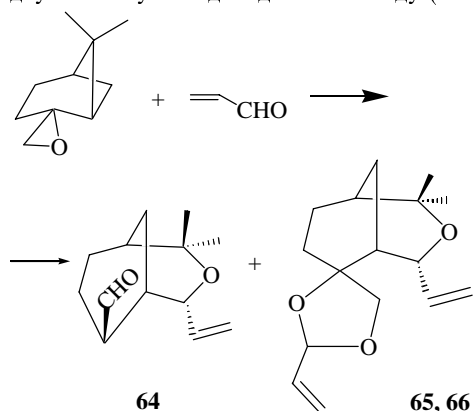


Схема 24

Превращения терпеноидов, катализируемые основными катализаторами

Несмотря на то, что история активного использования цеолитов в тонкой органической химии насчитывает уже несколько десятков лет, только в послед-

ние годы появились работы, посвященные применению основных цеолитов для катализа синтетически важных реакций СН-кислот с карбонильными соединениями (реакции Михаэля и Кнёвенагеля). В качестве акцепторов во всех работах использовали либо ароматические альдегиды, либо простейшие α,β -ненасыщенные карбонильные соединения, направление реакций с которыми не вызвало сомнений. При использовании основных цеолитов из-за достаточно сложного строения терпеноидов возможна атака нуклеофила как по углерод-углеродной двойной связи (реакция Михаэля), так и по карбонильной группе (реакция Кнёвенагеля). В этой части статьи рассмотрим влияние особенностей строения ряда терпеноидов на направление их реакций с малонитрилом в присутствии основного цеолита Бета и, следовательно, на синтетические возможности использования таких реакций в экологически приемлемых условиях.

При взаимодействии цитраля (смесь цис- и транс-изомеров 1 : 1) с малонитрилом в присутствии цеолита Cs-Бета в диэтиловом эфире была получена смесь цис-, транс-изомеров **67 а,б** (1:1) (схема 25). Интересно, что проведение этой реакции без растворителя значительно увеличивало ее скорость, однако выход триенов **67 а,б** при этом падал [18].

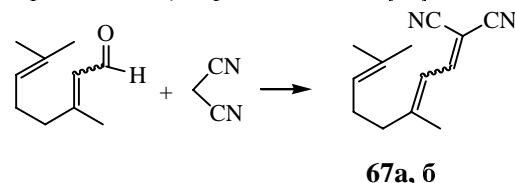
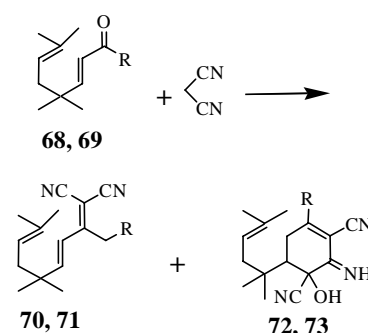


Схема 25

При взаимодействии в этих же условиях малонитрила с кетонами **68** и **69**, у которых в β -положении двойной связи у карбонильной группы присутствует только один, хотя и объемный, заместитель, в качестве основных образовывались соединения **70** и **71**, являющиеся продуктами реакции Кнёвенагеля (схема 26).



68, 70, 72 — R = CH₃; **69, 71, 73** — R = CH₂CH₃

Схема 26

Из реакционной смеси были также выделены необычные соединения **72** и **73**, которые, по-видимому, образуются в результате тандемных реакций Михаэля и Кнёвенагеля с последующими внутримолекулярной карбоциклизацией и нуклеофильным замещением нитрильной группы на гидроксигруппу.

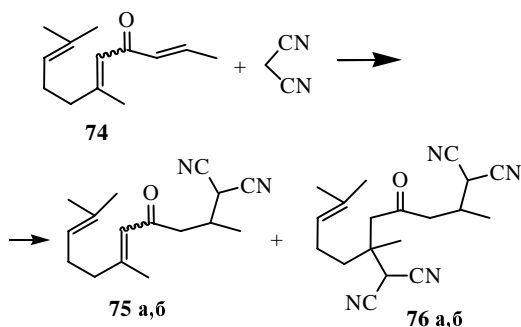


Схема 27

Пространственная доступность карбонильной группы также играет большую роль в определении направления реакции. Так, при взаимодействии ϕ -дамаскона **74** (смесь *цис*- и *транс*-изомеров 1 : 1) с малононитрилом (схема 27) в качестве основных продуктов были выделены соединения **75 а,б** (1 : 1), являющиеся продуктами реакции Михаэля, дальнейшая же реакция соединений **75 а,б** с малононитрилом приводила к атаке не по карбонильной группе, как этого следовало ожидать по аналогии с кетонами **68** и **69**, а по двойной связи, имеющей два заместителя в β -положении к карбонильной группе, давая смесь диастереомеров **76 а,б** в соотношении 1 : 1. Таким образом, в случае, когда атака по карбонильной группе сталкивается с пространственными затруднениями, возможно образование продукта реакции Михаэля при взаимодействии малононитрила с дизамещенной в β -положении к карбонилу двойной связью.

Реакция малононитрила с α -ионом **77**, который, как и кетоны **68** и **69**, содержит только один заместитель в β -положении двойной связи возле карбонильной группы, приводит к образованию исключительно продукта реакции Кнёвенагеля — соединения **78** (схема 28). Повидимому, отсутствие в реакционной смеси продуктов реакции Михаэля в этом случае объясняется слишком большим объемом заместителя в β -положении к двойной связи.

Карвон **79** обладает относительно легкодоступным β -положением двойной связи у карбонильной группы. Неудивительно, поэтому, что он является одним из самых широко используемых терпеноидов в качестве донора в реакции Михаэля. Образующиеся из карвона в этих реакциях соединения являются ценными полупродуктами для хирального синтеза природных соединений и их аналогов.

Показано, что при взаимодействии карвона с малонитрилом на цеолите Cs-Бета образуется необычное соединение **80** — продукт тандемных реакций Михаэля и Кнёвенагеля (схема 29). Для выяснения того какой из возможных интермедиатов — продукт атаки по двойной связи или по карбонильной группе —

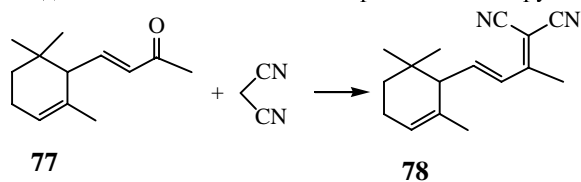


Схема 28

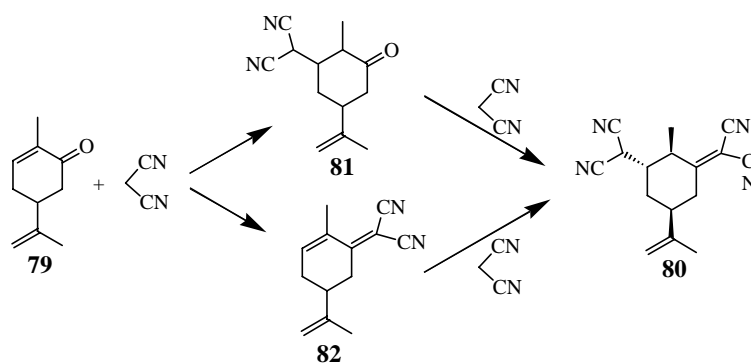


Схема 29

образуется соединение **80**, была проведена реакция карвона с небольшим количеством малононитрила. Из реакционной смеси были выделены и продукт реакции Михаэля **81**, и продукт реакции Кнёвенагеля **82**, а также соединение **80**, то есть реакция протекает через оба возможных промежуточных соединения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Волчо К.П., Татарова Л.Е., Корчагина Д.В., Салахутдинов Н.Ф. и др. Ж. орган. химии, 1994, т. 30, вып. 5, с. 641.
2. Волчо К.П., Корчагина Д.В., Татарова Л.Е., Салахутдинов Н.Ф. и др. Там же, 1993, т. 29, вып. 3, с. 646—647.
3. Ильина И.В., Волчо К.П., Корчагина Д.В., Салахутдинов Н.Ф. и др., Там же, 1999, т. 35, вып. 5, с. 699—710.
4. Volcho K. P., Korchagina D. V., Salakhtudinov N. F. e.a. J. Mol. Catalysis A: Chemical, 1997, v. 125, p. 85—86.
5. Ильина И.В., Корчагина Д.В., Салахутдинов Н.Ф. и др. Ж. орган. химии, 2000, т. 36, вып. 10, с. 1483—1492.
6. Татарова Л.Е., Яровая О.И., Волчо К.П. и др. Там же, 1995, т. 31, вып. 7, с. 982—995.
7. Татарова Л.Е., Корчагина Д.В., Салахутдинов Н.Ф. и др. Там же, 1993, т. 29, вып. 7, с. 1496—1497.
8. Кобзарь Е.А., Корчагина Д.В., Салахутдинов Н.Ф. и др. Там же, 1992, т. 28, вып. 6, с. 1309—1310.
9. Титова Т.Ф., Фоменко В.В., Корчагина Д.В. и др. Там же, 1997, т. 33, вып. 5, с. 731—741.
10. Фоменко В.В., Корчагина Д.В., Салахутдинов Н.Ф. и др. Там же, 1995, т. 31, вып. 7, с. 1095—1096.
11. Фоменко В.В., Корчагина Д.В., Яровая О.И., Салахутдинов Н.Ф. и др. Там же, 1999, т. 35, вып. 7, с. 1031.
12. Фоменко В.В., Корчагина Д.В., Салахутдинов Н.Ф. и др. Там же, 2000, т. 36, вып. 4, с. 564.
13. Фоменко В.В., Корчагина Д.В., Салахутдинов Н.Ф. и др. Там же, 2000, т. 36, вып. 12, с. 1819.
14. Фоменко В.В., Корчагина Д.В., Салахутдинов Н.Ф., Бархаш В.А. Химия и компьютерное моделирование. Бутлеровские сообщения. 2002. № 7, с. 35—38.
15. Фоменко В.В., Волчо К.П., Корчагина Д.В. и др. Ж. орган. химии, 2002, т. 38, вып. 3, с. 392—395.
16. Волчо К.П., Татарова Л.Е., Корчагина Д.В. и др. Там же, 2000, т. 36, вып. 1, с. 41—48.
17. Ильина И.В., Корчагина Д.В., Салахутдинов Н.Ф., Бархаш В.А. Там же, 2000, т. 36, вып. 10, с. 1483—1492.
18. Volcho K. P., Kurbakova S.Yu., Korchagina D. V. e.a. J. Mol. Catalysis A: Chemical, 2003, v. 195, p. 263—274.