

Алкил(алкокси)силилалкилпроизводные азотсодержащих гетероциклов

О.М.Трофимова, Н.Ф.Чернов, М.Г.Воронков

Иркутский институт химии Сибирского отделения Российской академии наук

664033 Иркутск, ул. Фаворского, 1, факс (395) 239–6046

Иркутский государственный педагогический университет

664011 Иркутск, ул. Нижняя Набережная, 6, факс (395) 224–0559

Обобщены и систематизированы литературные данные, посвященные методам синтеза, свойствам и превращениям алкил(алкокси)силилалкилпроизводных азотсодержащих гетероциклов общей формулы $\text{Het}(\text{CH}_2)_n\text{SiX}_3$. Обсуждаются биологическая активность и применение этих соединений.

Библиография — 255 ссылок.

Оглавление

I. Введение	318
II. Способы получения	318
III. Химические свойства	324
IV. Биологическая активность и практическое применение	326

I. Введение

Значительный интерес к кремнийорганическим соединениям, содержащим гетероциклический фрагмент в углеводородной цепи, связанной с атомом кремния, обусловлен их практически ценными свойствами. На основе таких соединений были получены многочисленные сорбенты, иммобилизованные катализаторы, синтетические полупродукты, лекарственные препараты, пестициды и другие вещества, обладающие специфической биологической активностью.

К настоящему времени появилось большое число публикаций, посвященных органическим производным кремния, в которых кремний непосредственно связан с гетероциклическим заместителем (см., например, работы^{1–7}). Однако работ, посвященных карбофункциональным кремнийорганическим соединениям, содержащим атом кремния, связанный с гетероциклическим фрагментом через углеводородный мостик, до сих пор немного. Среди них следует отметить

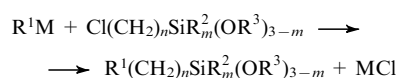
обзор⁸, в котором рассматриваются соединения, содержащие гетероциклический заместитель с одним атомом азота (в нем обобщены работы, опубликованные до 1970 г.), и два более поздних обзора^{9,10}, в которых рассматриваются методы синтеза кремнийорганических производных пиридина и хинолина.

В предлагаемой обзорной статье систематизированы и критически проанализированы появившиеся после 1970 г. данные по гетерилалкилсиланам, содержащим в гетероцикле хотя бы один атом азота.

II. Способы получения

1. Металлоорганический синтез

Один из способов получения алкил(алкокси)силилалкилпроизводных азотсодержащих гетероциклов, в которых атом кремния связан с атомом азота или углерода гетероцикла через углеводородный мостик $-(\text{CH}_2)_n-$ ($n = 1, 3$), основан на взаимодействии литий-, натрий-, калий- или магнийорганических производных соответствующих гетероциклов с кремнийзамещенными (хлоралкил)силанами:^{11–70}



$\text{R}^1 = N$ - или C -гетерил; $\text{R}^2, \text{R}^3 = \text{Me}, \text{Et}$; $\text{M} = \text{Li}, \text{Na}, \text{K}, \text{MgBr}, \text{ZnCl}$; $n = 1, 3$; $m = 0–3$.

Таким образом из алкил(алкокси)хлоралкилсиланов и N -калиевых производных фталимида,¹¹ имидазола, 1,2,4-триазола,^{12,13} бензотиазинона,¹⁴ пиперидина, пергидроазепина, морфолина¹⁵ и пурина¹⁶ в среде кипящего бензола или толуола были получены соответствующие кремнийзамещенные N -гетерилалкилсиланы. Применение межфазного

О.М.Трофимова. Кандидат химических наук, научный сотрудник группы элементоорганических соединений при советнике РАН ИрИХ СО РАН. Телефон: (395)246–2545.

Область научных интересов: химия кремнийорганических соединений, содержащих гетероциклический фрагмент в углеводородной цепи.

Н.Ф.Чернов. Доктор химических наук, старший научный сотрудник, заведующий кафедрой химии ИрГПУ. Телефон: (395)251–0133.

Область научных интересов: химия кремнийорганических соединений, содержащих гетероциклический фрагмент.

М.Г.Воронков. Академик, советник РАН, доктор химических наук. Телефон: (395)246–2400, e-mail: voronkov@irioc.irk.ru

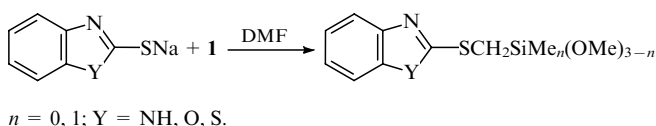
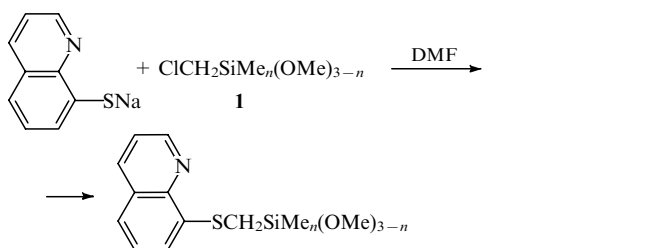
Область научных интересов: химия органических производных кремния и серы.

Дата поступления 28 мая 1998 г.

катализатора (Bu_4NBr) позволяет сократить время реакции.¹²

Взаимодействием *C*- или *N*-натриевых производных хинолина,^{17, 18} 2-пирролидинона,¹⁹ замещенных 1,2,4-триазола,^{20–31} имидазола,^{22, 23, 26, 30–35} урацила, тимина и аденина,³⁶ пиридола,³⁷ пиразина³⁸ и бензотриазола³⁹ с $\text{Cl}(\text{CH}_2)_n\text{SiR}_m^2(\text{OR}^3)_{3-m}$ ($n = 1, 3$; $m = 0–3$) в ДМФА получены соответствующие *C*- или *N*-замещенные гетерилалкилсиланы.

Взаимодействием *S*-натриевых производных 8-меркаптохинолина, 2-меркаптобензооксазола, 2-меркаптобензотиазола и 2-меркаптобензоимидазола с триметокси(хлорметил)- и диметоксиметил(хлорметил)силанами **1** в среде полярного апротонного растворителя (ДМФА, ДМСО) при 80–90°C в течение 2–3 ч синтезированы кремнийзамещенные (гетерилтиометил)силаны $\text{R}^1\text{SCH}_2\text{SiMe}_n(\text{OMe})_{3-n}$ ($n = 0, 1$) с выходом 65–86%.^{40–42}



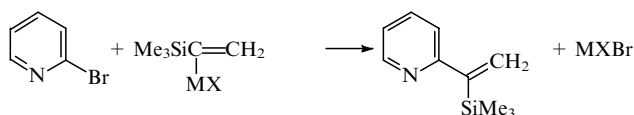
$n = 0, 1$; $Y = \text{NH}, \text{O}, \text{S}$.

Для синтеза триалкилсилилалкилзамещенных производных пиррола,^{43, 44} пиперидина,⁴⁵ пиридина,^{46–49} 2-пиридола,⁵⁰ пирролидина,^{51, 52} пиразола, имидазола, бензоимидазола,⁵³ хинолина,^{54–56} 3,4-диметилизоксазола,^{57, 58} 2-меркаптобензотиазола,^{59, 60} бензотиазола,⁶¹ индола,⁶² тетразола,⁶³ пиридина⁶⁴ и карбазола⁶⁵ широко используют *C*-, *N*- или *S*-литиевые производные этих гетероциклов. Последние получают взаимодействием соответствующих гетероциклических соединений с RLi ($\text{R} = \text{Me}, \text{Bu}^n, \text{Bu}^t, \text{Ph}, \text{NPr}_2$) в ТГФ или гексане. Так, карбанион 2-этилпиридина, образующийся при взаимодействии этилпиридина с бутиллитием (ТГФ, -70°C), легко реагирует с *трет*-бутилдиметилхлорсиланом. При этом сильная группа вступает в α -положение алкильного заместителя.⁴⁷

При взаимодействии триметилхлорсилана с продуктами реакции 2-, 3- и 4-метильных производных хинолина⁵⁴ с диизопропиламинидом лития были получены 2-, 3- и 4-триметилсилилметильные производные (при этом 3-замещенные производные образуются с наименьшим выходом). Металлированием диизопропиламинидом лития 2-метил-6-(2,5-диметилпирроло)пиридина (ТГФ–гексан, -25°C) и последующей реакцией с триметилхлорсиланом получен 2-триметилсилилметил-6-(2,5-диметилпирроло)пиридин с выходом 77%.⁴⁴ Аналогично протекает реакция трихлорметилсилана с литиевым производным 2-метилбензотиазола.^{59, 60}

Взаимодействием галогенпиридинов и -хинолинов с триметилсилилметилмагнийхлоридом или -цинкхлоридом в эфире в присутствии каталитического количества $\text{Cl}_2\text{Ni}[\text{Ph}_2\text{P}(\text{CH}_2)_3\text{PPh}_2]$ получены 2- и 3-триметилсилилметилпиридины (выход 72 и 35% соответственно), 2,6-бис(триметилсилилметил)пиридин (выход 69%) и триметилсилилметилхинолин (выход 44%).⁶⁶

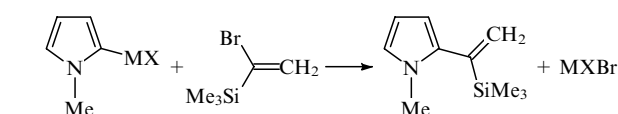
Реакция 2-бромпиридина с (1-триметилсилилвинил)-цинкхлоридом или -магнийбромидом в присутствии палладийфосфинового комплекса приводит к 2-(1-триметилсилилвинил)пиридину.^{67, 68}



$\text{MX} = \text{MgBr}, \text{ZnCl}$.

При использовании 4-кратного избытка 2-бромпиридина неожиданно был получен 2-(3-триметилсилилбут-3-енил)пиридин.

С использованием (2-триметилсилилвинил)магнийбромид или -цинкхлорида синтезированы соответствующие кремнийорганические производные пиррола и индола.⁶⁷ Так, триметил(α -бромвинил)силан реагирует с 1-метил-2-пирролил- и 1-метил-2-индолилмагнийбромидом или -цинкхлоридом в присутствии каталитического количества $\text{Cl}_2\text{Pd}[\text{Ph}_2\text{P}(\text{CH}_2)_4\text{PPh}_2]$, образуя соответствующие 1-метил-2-триметилсилилвинильные производные этих гетероциклов с выходом 74–87%.⁶⁷ Например:



$\text{MX} = \text{MgBr}, \text{ZnCl}$.

Взаимодействие 6-метилпиридина с метилхлорформиа-том и триметилсилилэтинилмагнийбромидом приводит исключительно к 2-триметилсилилэтинил-6-метил-*N*-метоксикарбонил-1,2-дигидропиридину (выход 79%).⁶⁹

При взаимодействии 4-(4-иодпиразоло)-7-хлорхинолина с CuI и $\text{Me}_3\text{SiC}\equiv\text{CH}$ в присутствии $\text{Cl}_2\text{Pd}(\text{PPh}_3)_2$ образуется 4-(4-триметилсилилэтинилпиразоло)-7-хлорхинолин.⁷⁰

2. Реакции аминирования

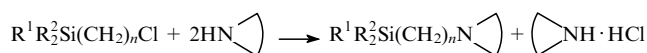
Для синтеза алкил(алкокси)силилалкилпроизводных азотсодержащих гетероциклов используют следующие методы:

1. Взаимодействие соответствующих производных (галогеналкил)силанов $\text{X}(\text{CH}_2)_n\text{SiR}_m^1(\text{OR}^2)_{3-m}$ с соединениями, содержащими эндоциклическую группировку >NH .

2. Реакция галогензамещенных азотистых гетероциклов с органическими производными кремния, содержащими у атома Si группу $(\text{CH}_2)_n\text{NH}_2$.

3. Присоединение замещенных азотистых гетероциклов, содержащих эндоциклические группировки >NH с подвижным атомом водорода, к непредельным кремнийорганическим соединениям.

Кремнийорганические производные морфолина,⁷¹ пергидроазепина,^{71–73} пиперазина,^{71, 73, 74} пиперидина,^{71, 72, 74, 75} пирролидина^{71–73, 76} и имидазола^{77, 78} получены нагреванием триалкил(хлоралкил)- или триалкокси(хлоралкил)силанов с избытком соответствующего *N*-гетероцикла, который одновременно является акцептором хлористого водорода:



$\text{R}^1\text{R}_2^2\text{Si} = \text{Me}_3\text{Si}, \text{Et}_3\text{Si}, \text{Me}(\text{EtO})_2\text{Si}, (\text{EtO})_3\text{Si}, \text{Me}(\text{Me}_3\text{SiO})_2\text{Si}, (\text{Me}_3\text{SiO})_3\text{Si}; n = 1, 3;$

$\text{HN} \begin{array}{c} \diagup \\ \diagdown \end{array}$ — здесь и далее азотсодержащее гетероциклическое соединение.

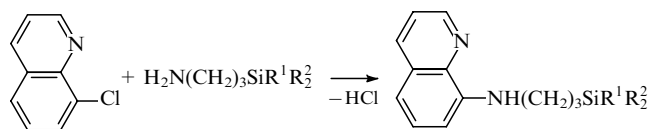
Реакцию проводят в среде кипящего неполярного растворителя (бензол, гексан, толуол). Триалкокси(хлорметил)силаны реагируют быстрее, чем соответствующие триалкилпроизводные.

Синтез кремнийзамещенных *N*-силилметиллактамов,^{79–81} 1-триалкилсилилметил(пропил)пиперазина⁸² и 1-триметилсилилметил-1,2,4-триазола^{83–85} осуществляли в присутствии безводного карбоната калия или натрия.

Кремнийалкилированием пиррола, карбазола, пиразола, имидазола, бензоимидазола, 1,2,4-триазола, 1,2,3-бензотриазола и тетразола триалкил(3-галогенпропил)силанами получены соответствующие *N*-(3-триалкилсилилпропил)азолы с выходом 80–90%.^{86,87} Реакцию проводили в двухфазной системе бензол–60%-ный водный раствор КОН в присутствии 5 мол.% тетрабутиламмонийгидросульфата в качестве межфазного катализатора при кипячении в течение 4–6 ч. Получить эти соединения гидросилилированием *N*-аллильных производных соответствующих азолов не удалось.⁸⁶ Взаимодействие 4-амино-1,2,4-триазола с триметил(галогенметил)силанами в среде ДМСО (80°C, 8 ч) приводит к 1-триметилсилилметил-4-амино-1,2,4-триазол-5-илгалогенидам. При использовании в качестве растворителя кипящего нитрометана продуктом реакции оказывается 3-триметилсилилметил-4-амино-1,2,4-триазол.⁸⁸

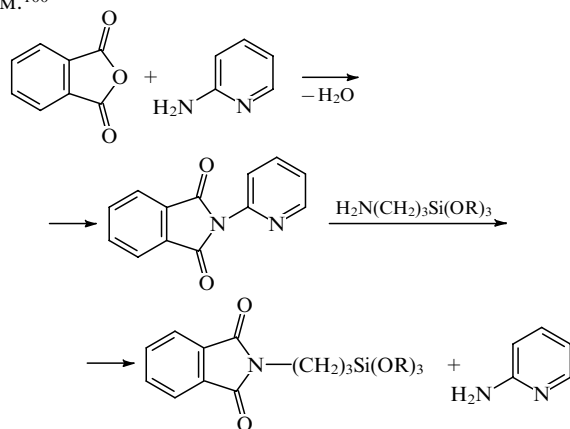
При получении *N*-(триалкилсилилалкил)- и *N*-(триалкоксилалкил)производных пиперазина,⁸⁹ 3,5-диметилпирозола,⁹⁰ 1,2,3,4-тетрагидро(изо)хинолина,^{91–93} пирролидона⁹⁴ и других лактамов⁹⁵ в качестве акцептора хлористого водорода используют триэтиламин. Реакцию проводят в кипящем толуоле или ксилоле. *N,N'*-Бис(триэтоксисилалкил)-пиперазины получены нагреванием триэтоксисилалкил-силана с пиперазином в мольном соотношении 2 : 1.⁸⁹

При нагревании хлорангидридов 2- и 4-хинолинкарбоновых кислот,⁹² 9-хлоракридина⁹⁶ и хлорхинолинов^{91,97–99} с (3-аминопропил)триалкилсиланами образуются соответствующие 3-(триалкилсилил)пропильные производные этих гетероциклов.



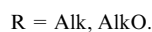
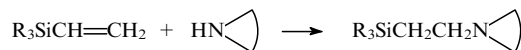
Выделение их обычно упрощается, если в качестве растворителя использовать диглим, а в качестве акцептора хлористого водорода — триэтиламин.

Разработан двухстадийный метод синтеза 3-(триалкоксисил)пропилфталимида. На первой стадии конденсацией фталевого ангидрида с 2-аминопиридином получают соответствующий имид, взаимодействие которого с (3-аминопропил)триалкоксисилом (толуол, 10–15 ч) приводит к 3-(триалкоксисил)пропилфталимиду с хорошим выходом.¹⁰⁰



Гетероциклы, содержащие эндоциклическую группировку NH, гладко и региоселективно присоединяются к неопределенным кремнийорганическим соединениям, включающим фрагмент SiCH=CH₂ или SiCH₂CH=CH₂, в присутствии щелочных металлов (Li, Na, K) или их амидов. В

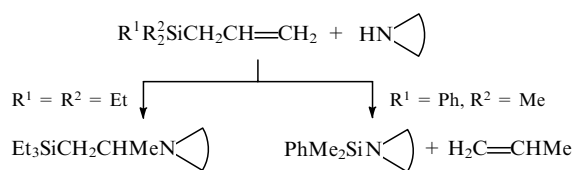
обоих случаях образующиеся аддукты содержат атом азота в β-положении к атому кремния. Присоединение к винилтриалкил- и винилтриалкоксисиланам пирролидина,⁷¹ пергидроазепина,⁷¹ пиперазина,⁸² 3,5-диметилпирозола, имидазола и бензоимидазола,^{90,101} 3(5)-метилпиразола,¹⁰² азиридина,¹⁰³ пиперидина^{71,104,105} и азетидина¹⁰⁶ протекает сравнительно легко уже при 20–75°C. Выход аддуктов составляет 70–85%.



Скорость присоединения азотистых гетероциклов к кремнийзамещенным винилсиланам существенно зависит от природы используемого растворителя. Так, в идентичных условиях за 2 ч выход продуктов присоединения азиридина и пиперидина к триэтилвинилсилану в отсутствие растворителя составляет 39 и 72%, в растворе *n*-гептана — 20 и 15%, а в растворе ТГФ — 55 и 92% соответственно.¹⁰³

Характер заместителей у атома кремния также оказывает большое влияние на реакционную способность исходных кремнийзамещенных винилсиланов. Так, при взаимодействии винилтриэтилсилана с азирином (100°C, 7 ч) выход 2-(азиридиноэтил)триэтилсилана составляет 90%. Продукт присоединения азиридина к винил(триэтоксисилану) — 2-(азиридиноэтил)триэтоксисилан — получен при 100°C за 10 ч с выходом 69%. Скорость каталитического присоединения N-гетероциклов к кремнийзамещенным винилсиланам R¹R²SiCH=CH₂ возрастает в следующем порядке изменения заместителей R¹, R² у атома кремния: (OEt)Me₂ < Et₃ < Me₃ < Me₂Ph < MePh₂. Это приписано возрастанию в этом ряду *p*-*d*-взаимодействия винильной группы с атомом кремния, что приводит к смещению электронной плотности к α-углеродному атому.¹⁰³ В настоящее время этот эффект объясняют σ-π-сопряжением, т.е. взаимодействием *p*-орбитали связи C=C с σ-орбиталями связи Si-C. Пониженная скорость реакции присоединения N-гетероциклов к винилтриэтоксисилану объяснялась расходом катализатора на расщепление связи Si-OR.¹⁰³

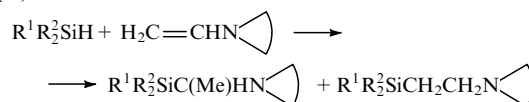
При удалении двойной связи от атома кремния в соединениях ряда R¹R²Si(CH₂)_nCH=CH₂ (*n* = 0–2) скорость реакции присоединения к ним N-гетероциклов снижается. При *n* = 1 наряду с реакцией присоединения часто наблюдается β-распад.



Выход продукта присоединения азиридина к аллилтриэтилсилану составляет 35%. В то же время к аллилдиметилфенилсилану азиридин уже не присоединяется, а образуется лишь продукт β-распада — азиридиндидиметилфенилсилан (выход 10%) и пропен.¹⁰⁵

3. Реакции гидросилилирования

Гидросилилирование гетерилалкенов обычно приводит к образованию смеси двух изомеров, выход и соотношение которых зависят от строения обоих реагентов и катализатора, а также от условий реакции (растворитель, температура).



Трихлорсилан присоединяется к 2-винил-, 4-винил- и 2,6-диметил-4-винилпиридинам в отсутствие катализатора с образованием соответствующих пиридилэтилтрихлорсиланов.⁸ Предполагается, что роль катализатора играет само гетероциклическое основание. Промежуточными продуктами реакции являются лабильные желтые комплексы $\text{Cl}_3\text{SiH} \cdot n\text{B}$ (в случае 4-винилпиридина $n = 3$; в случае 2-винилпиридина $n = 4$).

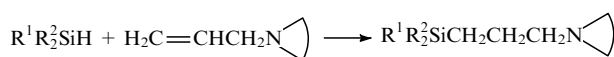
Триорганил- и диорганилхлорсиланы присоединяются к тем же винилпиридинам только в присутствии катализаторов. Так, в присутствии комплекса $\text{Me}_2\text{NCH}_2\text{CH}_2\text{NMe}_2$ с Cu_2Cl_2 образуются соответствующие β -аддукты, а в присутствии H_2PtCl_6 продуктом гидросилилирования 2-винилпиридина является смесь α - и β -аддуктов с преобладанием первого.¹⁰⁷ В отсутствие катализатора триэтилсилан с 2- и 4-винилпиридинами не взаимодействует, в то же время в присутствии H_2PtCl_6 он присоединяется к 4-винилпиридину и 2-метил-5-винилпиридину, давая только β -аддукты (выход 46 и 36% соответственно).

При катализируемом H_2PtCl_6 гидросилилировании 2-винилхинолина также образуется смесь α - и β -аддуктов. Так, этилдихлорсилан присоединяется к 2-винилхинолину в присутствии H_2PtCl_6 , давая преимущественно β -аддукт (выход 75%), триалкилсиланы дают смесь региоизомеров с преобладанием α -аддукта (120–160°C, 10 ч, общий выход 65%), а триэтоксисилан — смесь α - и β -аддуктов в соотношении 1:1. При этом использование неполярных апротонных растворителей (ксилол, диоксан, диглим) не влияет на соотношение изомерных аддуктов, но позволяет повысить общий выход с 55 до 70%.¹⁰⁸ Полярные же растворители (пиридин, хинолин) способствуют образованию β -изомера, при этом общий выход аддуктов снижается до 40%. В ДМФА реакция гидросилилирования не протекает.

2-(1-Триэтоксисилилэтил)пирролидон^{109–111} и 2-(1-триэтоксисилилэтоксипергидроазепин^{112, 113} получены реакцией *N*-винилпирролидона и *N*-винилкапролактама с триэтоксисиланом. В качестве катализаторов использовали комплексы родия или палладия, из которых наиболее эффективным оказался ацетилацетонатородийдикарбонил,^{111, 112} в его присутствии реакция протекает селективно с образованием лишь α -аддукта (выход 73%).

Реакция гидросилилирования 2- и 2,3-замещенных 1-винилпирролов, а также 1-винил-4,5,6,7-тетрагидроиндола триэтилсиланами, катализируемая H_2PtCl_6 и $\text{ClRh}(\text{PPh}_3)_3$ (80–100°C, 4–10 ч), протекает исключительно региоселективно с образованием 55–80% β -аддукта.^{114–118} Применение полярного апротонного растворителя (ТГФ, ацетон), а также увеличение продолжительности реакции позволяет повысить выходы аддуктов до 90%. Осуществить гидросилилирование указанных 1-винилпирролов алкилди-хлор-, трихлор- и триалкоксисиланами не удалось.

Гидросилилирование *N*-аллилпирролидина, -пиперидина,^{71, 119} -*N'*-метилпиперазина,¹²⁰ -морфолина^{120, 121} и -бензотриазола¹²² триорганилсиланами, катализируемое 0.1 М раствором H_2PtCl_6 , приводит к *N*-(3-триорганилсилпропил)производным соответствующих гетероциклов.



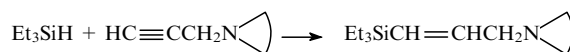
$\text{R}^1 = \text{Me}, \text{R}^2 = \text{Et}, \text{Pr}, \text{Bu}, \text{C}_5\text{H}_{11}, \text{Ph}, \text{Cl};$

$\text{R}^1 = \text{Et}, \text{R}^2 = \text{Et}, \text{Pr}, \text{Bu};$

$\text{R}^1 = \text{R}^2 = \text{Pr}, \text{Bu}, \text{EtO}.$

При гидросилилировании *N*-аллилкарбазола этилди-хлорсиланом индивидуальные продукты реакции выделить не удалось.¹²³

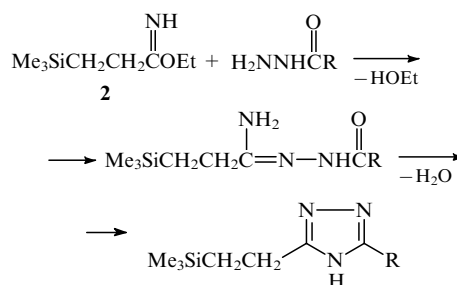
При гидросилилировании *N*-пропаргилпирролидина, -пиперидина, -пергидроазепина и -морфолина триэтилсиланом в присутствии H_2PtCl_6 образуются γ -аддукты *транс*-строения.^{71, 124, 125}



Выходы продуктов гидросилилирования после 10 ч кипячения реакционной смеси составляют 25–53%. Замена триэтилсилана на силаны с более электроотрицательными заместителями способствует образованию α -аддукта.

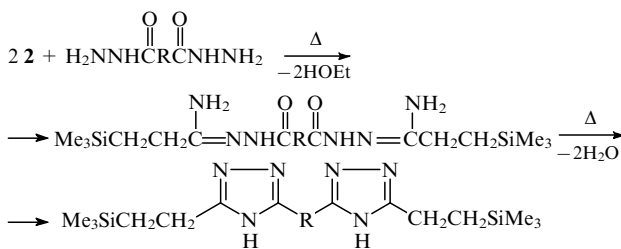
4. Реакции циклизации

При реакции гидразидов карбоновых кислот с этиловым эфиром β -триметилсилилпропионимидовой кислоты (2) образуются 3-алкил-5-(2-триметилсилилэтил)-1,2,4-триазолы.¹²⁶ Первичным продуктом реакции являются триметилсилилэтиламидразоны, внутримолекулярная циклизация которых при нагревании в вакууме приводит к соответствующим кремнийорганическим производным 1,2,4-триазола.



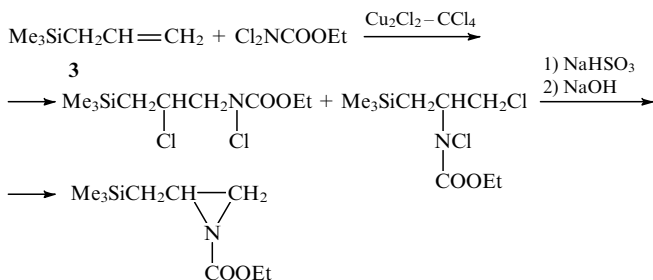
$\text{R} = \text{H}, \text{Me}.$

Дигидразиды дикарбоновых кислот превращаются в 3,3'-*R*-ди[5-(2-триметилсилилэтил)-1,2,4-триазолы] значительно труднее (только при нагревании до 200°C).



$\text{R} = \text{CH}_2, (\text{CH}_2)_4, \text{C}_6\text{H}_4.$

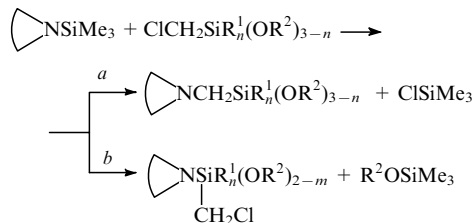
Присоединение этил-*N,N*-дихлоркарбамата к аллилтриметилсилану (3) с последующим восстановлением гидросульфитом натрия и дегидрохлорированием приводит к этил-*N*-хлор-*N*-(2-хлор-3-триметилсилилпропил)карбамату и этил-*N*-хлор-*N*-(1-хлорметил-2-триметилсилилэтил)карбамату. В результате внутримолекулярного алкилирования последних образуется 1-карбэтоксид-2-(триметилсилилметил)азиридин с выходом 20%.¹²⁷



Реакция аллилтриметилсилана с $\text{PhMeNCH}_2\text{OC}(\text{O})\text{Me}$ в хлористом метиле завершается образованием 4-триметилсилилметильного производного 1,2,3,4-тетрагидрохинолина.¹²⁸

реакции сокращается с 3 ч до 30 мин, но выход конечного продукта не изменяется (32–71%).¹⁴²

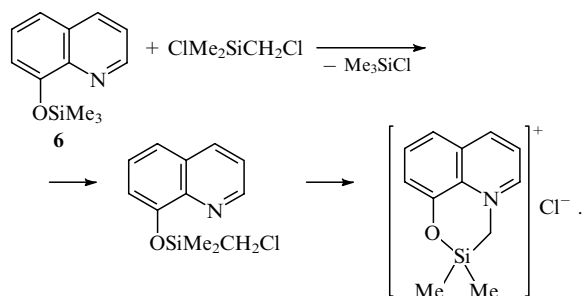
При взаимодействии силанов $\text{ClCH}_2\text{SiR}_n^1(\text{OR}^2)_{3-n}$ с *N*-триметилсилил-3,5-диметилпиразолом, -имидазолом, -бензоимидазолом^{90, 150, 151} и -2,2'-дипиридиламином¹⁵² основная реакция *N*-силилметилирования (реакция *a*) сопровождается пересилилированием (реакция *b*):



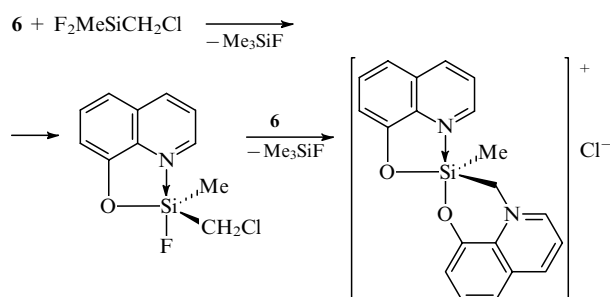
$\text{R}^1, \text{R}^2 = \text{Me, Et}; n = 0-3; m = 0, 2.$

Так, в случае 3(5)-метилпиразола соотношение продуктов, получаемых по реакциям силилметилирования и пересилилирования, составляет 85 : 15.¹⁰²

Взаимодействие 8-триметилсилилоксихинолина (6) с диметил(хлорметил)хлорсиланом осуществляется по следующей схеме:^{153, 154}



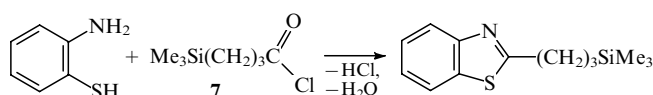
Метил(хлорметил)дигалогенсиланы реагируют с 8-триметилсилилоксихинолином с образованием спироциклического ионного производного пентакоординированного кремния.



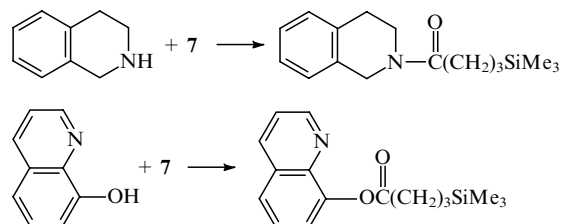
Реакции пересилилирования, приводящие к гетероциклическим производным гипервалентного кремния, рассмотрены здесь фрагментарно, так как им посвящено несколько обзоров.^{141, 142, 146, 148}

6. Другие реакции

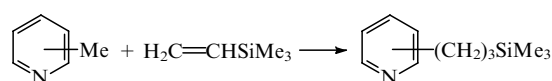
Взаимодействием 2-аминотиофенола с хлорангидридом 4-триметилсилилмасляной кислоты (7) в присутствии полярного растворителя и триэтиламина (50–150°C) получен 2-(3-триметилсилилпропил)бензотиазол.¹⁵⁵



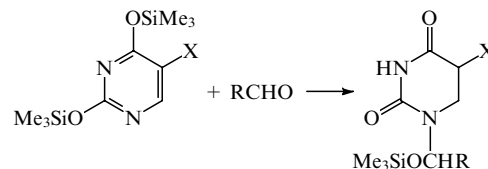
1,2,3,4-Тетрагидрохинолин, 1,2,3,4-тетрагидроизохинолин и *N*-метилпиперазин в реакциях с хлорангидридом 7 в инертном растворителе (эфир, гексан) при 0–10°C более реакционноспособны, чем 8-гидроксихинолин.¹⁵⁶



При термическом гомолитическом присоединении 2-, 3- и 4-метилпиридина к винилтриметилсилану при 350°C в присутствии $(\text{Bu}^t\text{O})_2$ с небольшим выходом (12–28%) образуются 2-, 3- и 4-(3-триметилсилилпропил)пиридины.¹⁵⁷

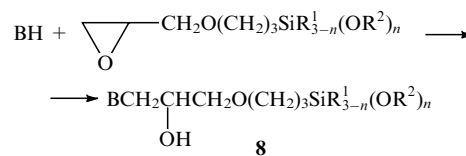


Взаимодействием 2,4-бис(триметилсилил)урацила с ароматическими (бензальдегид) и гетероароматическими (фурфурол, 5-нитрофурфурол, фурилакroleин) альдегидами получены *N*-замещенные силилоксиметилурацилы с выходом 16%.¹⁵⁸



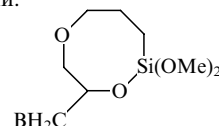
$\text{X} = \text{H, F}; \text{R} = \text{Ph, 2-C}_4\text{H}_3\text{O, 2-C}_4\text{H}_3\text{OCH}=\text{CH, 2-(5-NO}_2\text{C}_4\text{H}_3\text{O)}.$

Реакцией гетероциклических соединений (3-меркапто-1,2,4-триазола,¹⁵⁹ 2-меркаптопроизводных 1-метилимидазола,¹⁶⁰ бензоимидазола, бензотиазола,¹⁶¹ *N*-замещенных производных бензоимидазола,^{162, 163} бензотриазола¹⁶⁴ и 3-амино-1,2,4-триазола¹⁶⁵), содержащих подвижные атомы водорода, с 3-глицидоксипропил(алкил)(алкокси)силанами при 120°C получены соответствующие производные азолов 8.

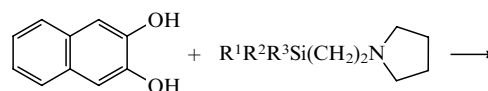


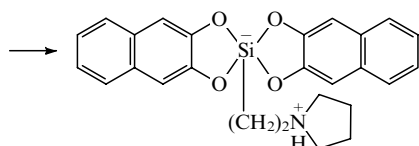
$\text{BH} = \text{HetSH, HN} \begin{array}{c} \diagup \\ \diagdown \end{array}; \text{R}^1, \text{R}^2 = \text{Alk}(\text{C}_1-\text{C}_3); n = 0-3.$

При $\text{R}^2 = \text{Me}, n = 3$ помимо азолов образуется также циклический продукт внутримолекулярной перестерификации.



Цвиттер-ионный спироциклический бис(2,3-нафтилендиол) [2-(пирролидино)этил]силикат получен реакцией 2,3-дигидрокси-1-нафталина с (2-пирролидиноэтил)силанами.¹⁶⁶





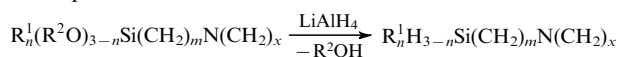
$R^1 = \text{OMe}$, $R^2 = \text{Ph}$, $R^3 = \text{OMe}$, C_6H_{11} ; $R^1 = R^2 = R^3 = \text{OMe}$.

В случае силана с $R^1 = \text{OMe}$, $R^2 = \text{Ph}$ и $R^3 = \text{C}_6\text{H}_{11}$ образование цвиттер-ионного силиката сопровождается двумя необычными реакциями расщепления связей $\text{Si}-\text{C}$ ($\text{Si}-\text{C}(\text{Ph})$ и $\text{Si}-\text{C}(\text{C}_6\text{H}_{11})$) в мягких условиях (выход 81%).¹⁶⁶

III. Химические свойства

1. Восстановление

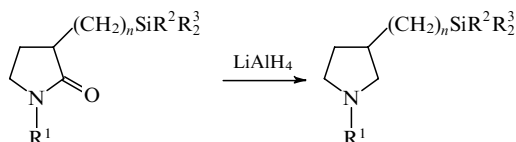
Восстановление кремнийзамещенных гетерилалкилсиланов, содержащих у атома кремния реакционноспособные заместители, использовано для получения соответствующих производных со связью $\text{Si}-\text{H}$. Так, реакция алкокси(алкил)-(2-азиридиноэтил)силанов ($m = 2$, $x = 2$) с алюмогидридом лития протекает в мягких условиях при эквимольном соотношении реагентов.^{75, 167}



$R^1, R^2 = \text{H}$, Alk ; $n = 0-2$; $m = 0-3, 5$; $x = 2, 5$.

Реакционная способность функциональных групп у атома кремния (OR^2 и H) в исходных и полученных соединениях существенно зависит от взаимной удаленности атомов кремния и азота. Если атом азота находится в α -положении к атому кремния, выход продуктов восстановления резко снижается. Так, выход $R_n^1\text{H}_{3-n}\text{Si}(\text{CH}_2)_m\text{N}(\text{CH}_2)_5$ при $m = 1$ составляет 12–15%, а при $m = 3$ и 5 – 55–60%.

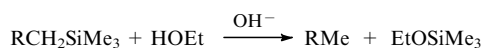
N-Замещенные 3-триалкилсилилалкилпирролидоны восстанавливаются алюмогидридом лития в соответствующие производные пирролидина (выход 58–60%).¹⁴⁶



$R^1 = \text{Me}$; $R^2 = \text{Me}$, $R^3 = \text{Ph}$; $R^2 = R^3 = \text{Me}$, Et ; $n = 0, 1$.

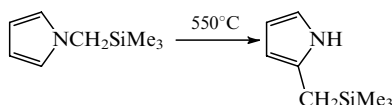
2. Десилилирование

В триметилбензилсилане и 1-(триметилсилилметил)пирроле связь $\text{Si}-\text{CH}_2$ расщепляется спиртовой щелочью, причем в производном пиррола значительно труднее, чем в триметилбензилсилане.⁸

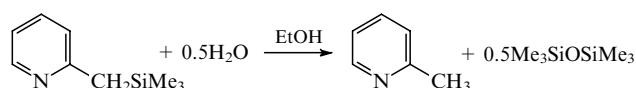


$\text{R} = \text{Ph}$, N -.

При 550°C 1-(триметилсилилметил)пиррол изомеризуется в 2-(триметилсилилметил)пиррол с выходом 39%.⁸



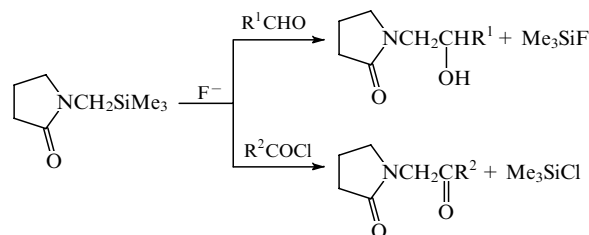
В 2-триметилсилилметилпирidine связь $\text{Si}-\text{CH}_2$ расщепляется уже при действии 95%-ного EtOH , при этом образуются 2-метилпирдин и гексаметилдисилоксан (общий выход 82%).



По-видимому, данная реакция инициируется содержащейся в спирте водой и протекает автокаталитически, при этом, в отличие от 2-триметилсилилпиридина, для ее осуществления требуется продолжительное нагревание (48 ч).⁹ Реакция катализируется щелочами и кислотами.¹⁶⁸ Вместо 95%-ного этилового спирта можно использовать уксусную кислоту.⁸

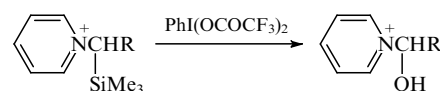
Определена скорость щелочного расщепления связей $\text{Si}-\text{CH}_2$ в изомерных триметилсилилметилзамещенных производных пиридина (Py) и хинолина (Q) в водно-метанольной среде при 50°C. В зависимости от расположения заместителя CH_2SiMe_3 в гетероцикле реакционная способность уменьшается в следующей последовательности (в скобках приведены относительные скорости реакций): 2- $\text{QCH}_2\text{SiMe}_3$ (41) > 4- $\text{QCH}_2\text{SiMe}_3$ (37) > 4- $\text{PyCH}_2\text{SiMe}_3$ (8.9) > 2- $\text{PyCH}_2\text{SiMe}_3$ (1.0) > 3- $\text{QCH}_2\text{SiMe}_3$ (0.161) > 3- $\text{PyCH}_2\text{SiMe}_3$ (0.03).⁵⁴ Из приведенных данных видно, что производные хинолина десилилируются быстрее, чем соответствующие производные пиридина.

В присутствии тетрабутиламмонийфторида в ДМФА или CsF в гексаметаполе *N*-триметилсилилметильные производные фталимида,¹¹ 2-пиперидона,³⁷ 2-меркаптобензотиазола,⁶⁰ 2-бензотиазола,⁶¹ 1,2,4-триазола^{83, 85, 169} и 4-метилпиридина¹⁷⁰ мягко десилилируются альдегидами в среде ТГФ при 20–25°C. Таким путем были получены соответствующие гетероциклические спирты. Аналогичные реакции с хлорангидридами карбоновых кислот приводят к соответствующим гетероциклическим кетонам.³⁷ Например:

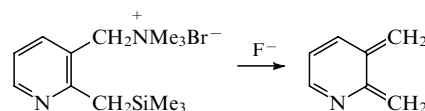


$R^1 = \text{Pr}^n$, Pr^i , Ph ; $R^2 = \text{Pr}^n$, 4- MeC_6H_4 , PhO .

Окислительное десилилирование триметилсилилметильных производных пиридина и хинолина с использованием $\text{PhI}(\text{OCOCF}_3)_2$ приводит к соответствующим спиртам с хорошим выходом.¹⁷¹



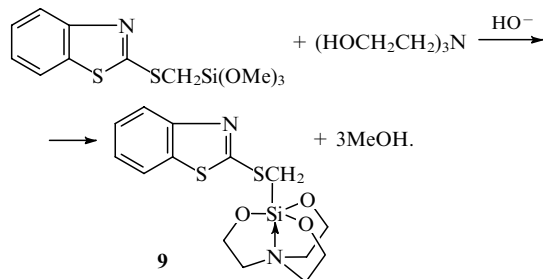
Иницируемое CsF десилилирование триметил[3-(2-триметилсилилметилпиридил)метил]аммонийбромида в среде ацетонитрила при 55°C приводит к пиридиновому аналогу *o*-хинодиметана.^{172, 173}



При взаимодействии 2-(триметилсилилметил)пиридина с перфтор(2-метилпроп-1-енил)метилловым эфиром и перфтор(2-метилпент-2-еном) получены соответственно 2-[2-метокси-3-(трифторметил)бут-1-енил]пирдин (выход – 50%) и 2-пентафторэтил-3-трифторметил-4*H*-хинолизин-4-он.¹⁷⁴

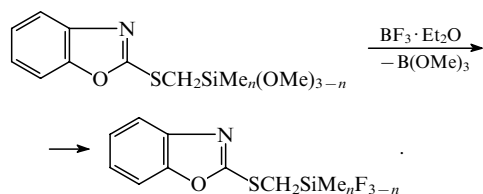
3. Реакции с участием функциональных заместителей у атома кремния

Перезэтерификация (гетерилметил)триалкоксиланов триэтаноломином, катализируемая КОН, приводит к гетерилметилсилатранам.^{40–42, 72, 89, 91, 117, 118, 133, 142, 175–178} Например,

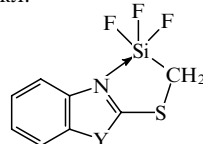


Молекулярная и кристаллическая структура 1-(2-бензотиазолилтиометил)силатрана установлена методом прецизионного рентгеноструктурного анализа.¹⁷⁸

При взаимодействии триметоксисилилметил- и метилдиметоксисилилметильных производных пиридина, 8-меркаптохинолина, 8-оксихинолина, 2-меркаптобензооксазола, 2-меркаптобензотиазола, пирролидина и пиридина с HF, BF₃·Et₂O или SbF₃ образуются соответственно гетерилалкилтрифтор- и метил(гетерилалкил)дифторсиланы с выходом 61–72%.^{117, 118, 179–183} Например,

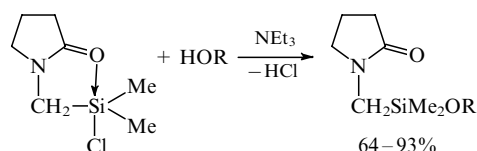


По данным рентгеноструктурного анализа,^{117, 181} в молекулах (2-бензооксазолитиометил)- и (2-бензотиазолитиометил)трифторсиланов существует внутримолекулярная координационная связь N → Si, замыкающая пятичленный цикл.



Y = O, S.

Наиболее универсальным методом синтеза *N*-(диметилалкоксисилилметил)лактамов является этерификация соответствующих хлоридов в присутствии триэтиламина — акцептора HCl.^{184, 185}

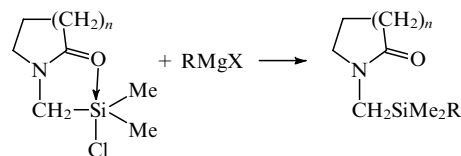


R = Me, Prⁱ, C₁₀H₂₁, CH₂Ph.

При образовании алкоксипроизводных координационная связь O → Si разрушается. При замене системы ROH–Et₃N на RONA–PhMe выход *N*-(диметилалкоксисилилметил)лактамов уменьшается (при R = Me и Prⁱ выход продуктов составляет всего 46 и 38% соответственно). Это является следствием расщепления связи Si–CH₂, протекающего параллельно с образованием *N*-метиллактамов.

Вместо алкоксидов натрия можно также использовать триалкилалкоксистаннаны. Этим путем были получены *N*-(диметилалкоксисилилметил)замещенные пирролидоны и 2-азепиноны с выходом 79–96%.¹⁸⁶

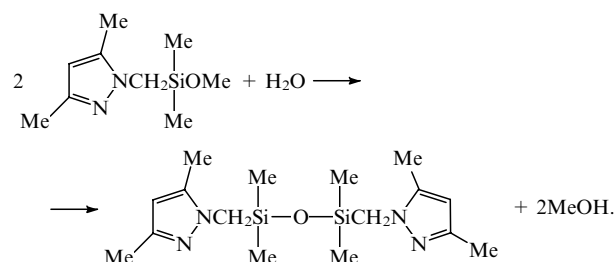
При взаимодействии *N*-хлордиметилсилиллактамов с реактивами Гриньяра (MeMgI, PhCH₂MgCl) последние реагируют в высокой степени хемоселективно по связи Si–Cl, образуя соответствующие *N*-триметилсилилметильные и *N*-бензилдиметилсилилметильные производные лактамов.¹⁸⁷



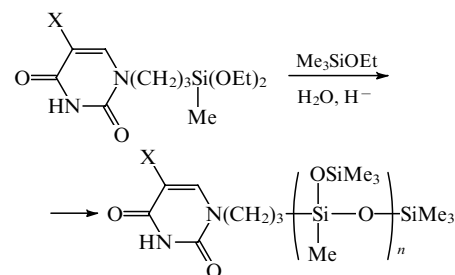
R = Me, CH₂Ph; X = Cl, I; n = 1–3.

4. Реакции гидролиза

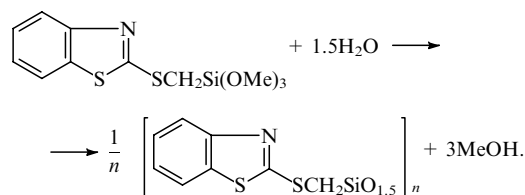
При гидролизе *N*-(метоксифенилсилилметил)-1,2,4-триазола,²⁸ *N*-(диметилметоксисилилметил)-3,5-диметилпиразола,⁹⁰ *N*-(диметилхлорсилилметил)-¹⁸⁸ и *N*-(диметилалкоксисилилметил)лактамов¹⁸⁹ образуются соответствующие линейные 1,3-бис(*N*-гетерилметил)тетраорганилдисилоксаны с выходом 60–82%. Например,



Гидролитическая поликонденсация *N*-(3-метилдиэтоксисилилпропил)производных урацила, тимина и аденина приводит к соответствующим полиорганосилоксанам.³⁶

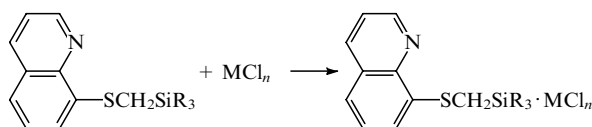


Гидролиз 4-(триалкоксисилилалкил)тетрагидро-1,4-тиазиноксида,¹³³ 1-(2-триметоксисилилметилтио)бензоимидазола, -бензооксазола и -бензотиазола,^{40–42, 190} *N*-(3-триалкоксисилилпропил)морфолина¹⁹¹ протекает с образованием соответствующих полигетерилалкилсилилсесквиоксанов с выходом 10–63%. Например,



5. Комплексообразование

2-(3-Триэтилсилилпропил)хинолин,⁹¹ *N*-триметилсилилметил-1,2,3,4-тетрагидроизохинолин,^{75, 93, 192} *N*-(3-метилдифенилсилилпропил)морфолин и -пиперазин,¹¹⁰ *N*-[3-(триалкилсилил)пропаргил]производные пирролидина и пиперидина¹²⁴ реагируют с насыщенным раствором хлористого водорода в эфире, образуя соответствующие гидрохлориды. Взаимодействием (8-хинолилтиометил)триметилсиланов, -триметоксисиланов и -силатрана с CuCl_2 , ZnCl_2 , PtCl_2 и SnCl_4 ^{193–195} получены различные типы координационных соединений, строение которых зависит от природы металла и заместителей у атома кремния. Так, взаимодействие (8-хинолилтиометил)триметилсилана с тетрахлорплатином калия приводит к плоско-квадратному комплексу хелатного типа с PtCl_2 .



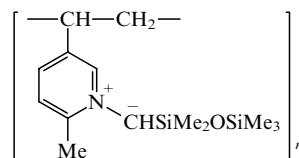
$\text{R} = \text{Me}, \text{OMe}; \text{R}_3 = (\text{OCH}_2\text{CH}_2)_3\text{N}; \text{MCl}_n = \text{CuCl}_2, \text{ZnCl}_2, \text{PtCl}_2, \text{SnCl}_4, \text{HCl}.$

IV. Биологическая активность и практическое применение

Многие из рассматриваемых в этом обзоре соединений обладают высокой специфической биологической активностью, обусловленной как наличием гетероциклической системы, так и присутствием атома кремния, обрамленного соответствующими заместителями. Поэтому за последние годы такие вещества привлекают особое внимание. *N*-(Триорганилсилилалкил)имидазолы^{12, 13, 20, 22, 23, 26, 30, 31, 196, 197} и -1,2,4-триазолы,^{12, 13, 20–24, 26–31, 84, 85, 196–206} 8-(триметоксисилилпропиламино)хинолин и -5,7-дибром-8-хинолин,²⁰⁷ а также 2-(триметилсилил)метилпиперидины²⁰⁸ обладают широким спектром бактерицидной и фунгицидной активности. В качестве фунгицидов они подавляют (в дозах 20–100 г·га^{–1}) *Puccinia recondita*, *Sphaerotheca fuliginea*, *Erysiphe graminis*, *Podosphaera leucotricha*. Так, 1-[2-(4-бромфенилэтил)диметилсилилметил]имидазол проявляет фунгицидное действие по отношению к *Erysiphe cichoracearum*, *Erysiphe graminis*, *Puccinia recondita*, *Puccinia coronata*, *Phalosphaeria nodorum* в концентрациях 50–200 мг·л^{–1} (см.²⁶).

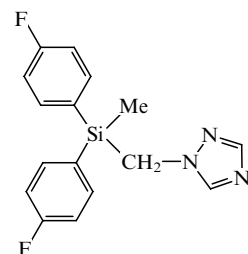
6-Замещенные (триметилсилил)-3,5-диаминометил-1,2,4-триазола и 2-(триметилсилилметокси)пирролидон проявляют высокую инсектицидную активность.⁹⁴ *N*-[3-(4-Хлорфенил)диметилсилилпропил]пиперидин в дозах 2 и 5 г·кг^{–1} замедляет рост присосков на растении табака.¹⁵

(4-Галогенфенил)метилсилилбис(1-метил-1,2,4-триазол) ($\text{Hal} = \text{F}, \text{Cl}$),²⁴ 3-[бис(4-фторфенил)метилсилил]имидазол³⁴ и 7-хлор-4-(4-триметилсилилэтилпиперазол)хинолин⁷⁰ обладают контактным и системным действием против болезней пшеницы, риса, ячменя, овса, кукурузы, хлопчатника, сои, кофе, сахарного тростника, яблони и др. в концентрации 500 мг·л^{–1}. *N*-Триалкилсилилметил-2-пирролидоны и -капролактамы ингибируют рост некоторых бактерий, вызывающих заболевания виноградной лозы и бахчевых культур.⁸⁰ *N*-Триметилсилилметильные производные бензооксазина являются активными и нефитотоксичными для культурных растений компонентами гербицидных препаратов, которые используют в дозе 0.06–1.00 кг·га^{–1} (см.²⁰⁹). 3,5-Диамино-6-(2-триметилсилилэтил)-1,2,4-триазин применяется для уничтожения гусениц, поедающих ростки капусты, свеклы, табака.²¹⁰ Высокой пестицидной и регулирующей рост активностью обладает поли[5-винил-2-метилпиперидиний-1-пентаметилдисилоксиметилд].^{211, 212}



4-[3-(Триметилсилил)пропиламино]хинолины обладают не только гербицидной, но и избирательной антимикробной активностью:^{97, 99} эффективно подавляя патогенные грибы и умеренно подавляя рост грам-положительных бактерий, они не влияют на грам-отрицательные бактерии. 4-[3-(Триалкилсилил)пропиламино]-7-хлорхинолины обладают высокой фунгистатической активностью. Введение в положение 6 этих соединений метоксигруппы значительно повышает их бактериостатическое действие.^{98, 99}

Флусилазол — бис(4-фторфенил)метил(1*H*-1,2,4-триазолометил)силан — является эффективным кремнийорганическим эргостерольным фунгицидом, подавляющим биосинтез.^{25, 213–231}



В настоящее время флусилазол — один из ведущих сельскохозяйственных фунгицидов широкого спектра действия. Он используется для борьбы с комплексом заболеваний зерновых, виноградной лозы, семечковых плодовых культур, сахарной свеклы, арахиса, вызываемых аско-, базидио- и дейтеромицетами, при нормах расхода 80–240 г·га^{–1}. Он применяется и в смеси с другими фунгицидами.

(*N*-Метилпиперазинометил)фенилциклогексилсиланолсульфометилат обладает мощным и высокоселективным антимускаринным действием и используется в экспериментальной фармакологии для классификации различных подтипов мускариновых рецепторов.⁷⁴

Гидрохлориды *N*-(триэтилсилилпропаргил)пиперидина и -пирролидина оказывают нейротропное действие на животных.¹²⁴ Гидрохлорид 6-[4-(триметилсилил)бутирил-амино]хинолина проявляет противовирусную активность в отношении вируса гриппа А.⁹² Высоким противомикробным действием обладают 1-(2-хлорфенилдифенил)метил-3-(диметилфенилсилил)метилимидазолийхлорид,⁷⁷ *N*-[3-(триалкилсилил)пропил]имидазол,^{86, 87} *N*-[3-(триорганилсилил)пропил]пиперазин и -морфолин,¹¹⁰ 1-(триметилсилилметил)-1,2,4-триазол,²⁰⁹ а также 4-(3-триалкилсилилпропил)аминохинолин^{91, 93, 156} и -пиперидин.²³² Эти соединения проявляют высокую фунгистатическую активность в сочетании с высокой цитотоксичностью.

4-(Триорганилсилилалкил)тетрагидро-1,4-тиазиноксиды-1 оказывают существенное влияние на центральную и периферическую нервную систему, а также обладают бактериостатической активностью.¹³³

Малотоксичный [1-(2-оксопирролидино)этил]триэтоксисилан обладает противошоковым и транквилизирующим действием.¹¹⁶ Гидрохлориды метилдибутил(3-пиперидинопропил)силана и 2-(3-триметилсилилпропаргил)пиперазин-6-тиокарбоксамида, а также *N*-(триэтилпропаргилсилилметил)пиперидин проявляют *in vitro* туберкулостатическую активность к *M. tuberculosis* и бактериостатическое действие на *Staphylococcus aureus haemolyticus* 209.^{38, 233}

Противоопухолевую активность проявляют 4-[3-(триалкилсилил)пропиламино]хинолины, 1-(3-триалкилсилилпро-

пил)фторурацил,²³⁴ гидрохлорид *N*-триметилсилилметил-1,2,3,4-тетрагидроизохинолина,⁹³ 4-хинолиламиноалкил-, 1-(1-тетрагидроизохинолилметил)- и 1-[1-(4-хинолиламино)-пропил]силатраны.²³⁵ К канцеростатическому действию этих соединений особенно чувствительна асцитная опухоль Эрлиха и лейкемия L_D 5178. При этом (гетерилалкил)триалкилсиланы менее активны, чем соответствующие производные силатранов.

1-(3-Триалкилсилилпропил)пиперидин используют в качестве активного компонента дезинфицирующего средства для обработки текстильных материалов.²³⁶ Противомикробную активность также проявляет 4-(2-триметоксисилил)этил-*N*-алкилпиридинийбромид, увеличивающий объем и мягкость текстильных волокон.²³⁷

Производные (триорганисилил)бензотриазола применяют в качестве добавки в кремы для защиты кожи от загара.¹¹²

N-(3-Триметоксисилилпропил)имид малеиновой кислоты²³⁸ и 3-(триорганисилилалкил)-2-пирролидон²³⁹ вводят в состав фармацевтических препаратов на полимерной основе для улучшения их механических свойств.

5-[(Триметилсилил)метилтио]- и 5-[(диэтилметилсилил)метилтио]-8-меркаптохинолины используют в качестве органических аналитических реагентов.^{18, 240, 241}

2-(2-Триметоксисилилэтил)пиридин применяется для получения родиево-карбонильных комплексов, используемых в качестве катализаторов, иммобилизованных на силикагеле.²⁴²

Производные 1-(триалкоксисилилалкил)-3,5-диамино-триазина,²⁴³ пиперидина²⁴⁴ и -2-(4-триазолил)бензоимидазола²⁴⁵ рекомендованы для обработки стеклотканей с целью улучшения их сочетания с полимерными связующими. Для защиты поверхности металлов используют *N*-замещенные кремнийорганические производные имидазола,²⁴⁶ бензоимидазола²⁴⁷ и триазина,²⁴⁸ образующие высокотермостойкие покрытия, сохраняющиеся после 100 циклов нагревания.

2-(Триалкилсилилалкил)бензотиазол запатентован как связующий агент для кремнеземного наполнителя резиновых шин.^{78, 249–253}

Для получения электропроводящих материалов используют полисилан, содержащий *N*-алкилпиррольные группы²⁵⁴ и *N*-триметоксисилилпропильные производные имидазола.²⁵⁵

Литература

1. Е. Ya. Lukevics, O. A. Pudova, N. P. Erchak. In *Advances in Organosilicon Chemistry*. Mir, Moscow, 1985. P. 153
2. Г. С. Зайцева, О. П. Новикова, Л. И. Ливанцова, Ю. И. Бауков. *Вестн. МГУ. Сер. 2. Химия*, **31**, 107 (1990)
3. Э. Я. Лукевич, Л. Борисова. *Изв. АН ЛатвССР. Сер. хим.*, 515 (1990)
4. K. Hensen, G. Klebe. *J. Organomet. Chem.*, **209**, 17 (1981)
5. G. Klebe, M. Nix, K. Hensen. *Chem. Ber.*, **117**, 797 (1984)
6. G. Klebe. *J. Organomet. Chem.*, **293**, 147 (1985)
7. H. Appler. *J. Organomet. Chem.*, **350**, 217 (1988)
8. Э. Я. Лукевич, А. Е. Пестунович. *Успехи химии*, **41**, 1994 (1972)
9. Э. Лукевич, И. Д. Сегал. *Химия гетероцикл. соединений*, 5 (1987)
10. E. Lukevics, I. D. Segal. *Organomet. Chem. Rev.*, 69 (1988)
11. O. Tsuge, J. Tanaka, S. Kanemasa. *Bull. Chem. Soc. Jpn.*, **58**, 1991 (1985)
12. Пат. 148026 Европа; *Chem. Abstr.*, **103**, 215540 (1985)
13. WO PCT 8706430; *Chem. Abstr.*, **108**, 150712 (1988)
14. A. Marfat, M. P. Carta. *Synthesis*, 515 (1987)
15. Пат. 507565 Европа; *Chem. Abstr.*, **118**, 81172 (1993)
16. Э. Алкснис, М. Лидак, Э. Лукевич. *Химия гетероцикл. соединений*, 654 (1995)
17. Пат. 875801 Бельгия; *Chem. Abstr.*, **92**, 6685 (1980)
18. А. П. Стурис, Ю. А. Банковский, Я. Э. Лесейс, Р. С. Миезере, Э. Я. Лукевич. *Латв. хим. журн.*, 142 (1995)
19. E. Vedejs, S. Larsen, F. G. West. *J. Org. Chem.*, **50**, 2170 (1985)
20. Пат. 68813 Европа; *Chem. Abstr.*, **98**, 198430 (1983)
21. Пат. 4510136 США; *Chem. Abstr.*, **104**, 207438 (1986)
22. Пат. 6308388 Япония; *Chem. Abstr.*, **109**, 190564 (1988)
23. Пат. 3723246 ФРГ; *Chem. Abstr.*, **110**, 173465 (1989)
24. Пат. 6305092 Япония; *Chem. Abstr.*, **109**, 73650 (1988)
25. R. Tacke, B. Becker, D. Schomburg. *Appl. Organomet. Chem.*, **3**, 133 (1989)
26. Пат. 389702 Австрия; *Chem. Abstr.*, **113**, 59527 (1990)
27. Пат. 4213257 ФРГ; *Chem. Abstr.*, **118**, 102237 (1993)
28. F. Liebner, U. Bankwitz, K. Rühlmann. *Liebigs Ann. Chem.*, 145 (1994)
29. Пат. 06256357 Япония; *Chem. Abstr.*, **123**, 199137 (1995)
30. Пат. 609099 Европа; *Chem. Abstr.*, **121**, 173058 (1994)
31. WO PCT 9508552; *Chem. Abstr.*, **123**, 112400 (1995)
32. J. P. Whitten, D. P. Matthews, J. R. McCarthy. *J. Org. Chem.*, **51**, 1891 (1986)
33. D. P. Matthews, J. P. Whitten, J. R. McCarthy. *J. Heterocycl. Chem.*, **24**, 689 (1987)
34. Пат. 3832075 ФРГ; *Chem. Abstr.*, **113**, 115553 (1990)
35. S. Földes, M. Molnár, M. Lökös. *Liebigs Ann. Chem.*, 211 (1994)
36. R. Zhuo, G. Liu, Y. Zhou. *Chin. J. Polym. Sci.*, **2**, 148 (1986)
37. A. R. Katritzky, S. Sengupta. *Tetrahedron Lett.*, **28**, 5419 (1987)
38. B. Milczarska, H. Foks, M. Otfinowski, M. Janowiec. *Acta Pol. Pharm.*, **45**, 201 (1988); *РЖХим.*, 14 Ж 343 (1989)
39. A. R. Katritzky, J. N. Lam. *Heteroatom. Chem.*, **1**, 21 (1990)
40. М. Г. Воронков, Н. Ф. Чернов, О. М. Трофимова, Ю. Э. Овчинников, Ю. Т. Стручков, Г. А. Гаврилова. *Изв. АН. Сер. хим.*, 758 (1993)
41. М. Г. Воронков, Н. Ф. Чернов, О. М. Трофимова, Т. Н. Аксаметова. *Изв. АН. Сер. хим.*, 1965 (1993)
42. О. М. Трофимова. Дис. канд. хим. наук. ИрИОХ СО РАН, Иркутск, 1995
43. R. A. Simon, A. J. Ricco, M. S. Wrighton. *J. Am. Chem. Soc.*, **104**, 2031 (1982)
44. S. P. Brueckelman, S. E. Leach, G. D. Meakins, M. D. Tirl. *J. Chem. Soc., Perkin Trans. 1*, 2801 (1984)
45. E. J. Corey, D. E. Cane. *J. Org. Chem.*, **35**, 3405 (1970)
46. W. K. Musker, R. L. Scholl. *J. Organomet. Chem.*, **27**, 37 (1971)
47. N. V. Bac, Y. Langlois. *J. Am. Chem. Soc.*, **104**, 7666 (1982)
48. R. I. Papasergio, C. L. Raston, A. H. White. *J. Chem. Soc., Chem. Commun.*, 1419 (1983)
49. Y. Fall, N. V. Bac, Y. Langlois. *Tetrahedron Lett.*, **27**, 3611 (1986)
50. G. P. Gisby, S. E. Royall, P. G. Sammes. *J. Chem. Soc., Perkin Trans. 1*, 169 (1982)
51. S. F. Martin, M. T. DuPriest. *Tetrahedron Lett.*, 3925 (1977)
52. R. J. P. Corriu, V. Huynh, J. J. E. Moreau. *J. Organomet. Chem.*, **259**, 283 (1983)
53. В. Д. Шелудяков, В. И. Жунь, В. Г. Лахтин, В. Н. Бочкарев, Т. Ф. Слюсаренко, В. М. Носова, А. В. Кисин, Н. В. Алексеев. *Журн. общ. химии*, **52**, 2574 (1982)
54. A. Fischer, M. W. Morgan, C. Eaborn. *J. Organomet. Chem.*, **136**, 323 (1977)
55. Э. Я. Лукевич, И. Д. Сегал, Т. В. Лапина. *Изв. АН ЛатвССР. Сер. хим.*, 371 (1978)
56. E. Lukevics, E. Liepin, I. Segal, M. Fleisher. *J. Organomet. Chem.*, **406**, 283 (1991)
57. R. Nesi, A. Ricci, M. Taddei, P. Tedeschi, G. Seconi. *J. Organomet. Chem.*, **195**, 275 (1980)
58. M. Borth, K. D. Bowles, L. Schlicksupp, N. R. Natale. *J. Organomet. Chem.*, **331**, 1 (1987)
59. A. R. Katritzky, J. M. Aurecochea, L. M. Vazquez-de Miguel. *J. Chem. Soc., Perkin Trans. 1*, 769 (1987)
60. A. R. Katritzky, W. Kuzmierkiewicz, J. M. Aurecochea. *J. Org. Chem.*, **52**, 844 (1987)
61. E. Epifani, S. Florio, G. Ingrosso. *Tetrahedron*, **43**, 1937 (1987)
62. A. Padwa, G. E. Fryxell, J. R. Gasdaska, M. K. Venkatraman, G. S. K. Wong. *J. Org. Chem.*, **54**, 644 (1989)
63. C. J. Moody, C. W. Rees, R. G. Young. *Synlett*, 413 (1990)
64. D. Kummer, S. H. A. Halim, W. Kuhs, G. Mattern. *J. Organomet. Chem.*, **446**, 51 (1993)
65. A. R. Katritzky, Q. Hong, Z. Yang. *Organometallics*, **14**, 734 (1995)
66. K. Tamao, S. Kodama, I. Nakajima, M. Kumada, A. Minato, K. Suzuki. *Tetrahedron*, **38**, 3347 (1982)

67. A.Minato, K.Suzuki, K.Tamao, M.Kumada. *Tetrahedron Lett.*, **25**, 83 (1984)
68. В.Н.Калинин. *Успехи химии*, **60**, 339 (1991)
69. R.Yamaguchi, Y.Nakazono, M.Kawanisi. *Tetrahedron Lett.*, **24**, 1801 (1983)
70. Пат. 703234 Европа; *Chem. Abstr.*, **124**, 343296 (1996)
71. Э.Я.Лукевиц, А.Е.Пестунович, М.Г.Воронков. *Изв. АН ЛатвССР. Сер. хим.*, 447 (1972)
72. Э.Лукевиц, Р.Я.Москович, Э.Лиепиньш, И.С.Янковская. *Журн. общ. химии*, **46**, 604 (1976)
73. Э.Лукевиц, В.Лусе, И.Зицмане, Э.Лиепиньш, М.Трушуле, С.Германе, И.Аугустане, В.Н.Веровский, Н.Г.Проданчук, С.Е.Дейнека, В.Н.Нивалов. *Химия гетероцикл. соединений*, 1653 (1991)
74. R.Tacke, H.Linoh, K.Rafeiner, G.Lambrech, E.Mutschler. *J. Organomet. Chem.*, **359**, 159 (1989)
75. Э.Лукевиц, И.Слейкша, Э.Лиепиньш, Р.Д.Шатц, И.Зицмане, А.Пурвиня. *Химия гетероцикл. соединений*, 1644 (1991)
76. T.H.Chan, D.Wang. *Tetrahedron Lett.*, **30**, 3041 (1989)
77. Пат. 01319420 Япония; *Chem. Abstr.*, **113**, 91447 (1991)
78. Пат. 06287198 Япония; *Chem. Abstr.*, **123**, 169878 (1995)
79. А.с. 726099 СССР; *Бюл. изобрет.*, (13), 129 1980
80. Л.М.Хананашвили, Д.Ш.Ахобадзе, Л.К.Джаниашвили, З.Ш.Ломтатидзе. *Хим.-фармацевт. журн.*, **16**, 560 (1982)
81. Л.М.Хананашвили, Д.Ш.Ахобадзе, Л.К.Джаниашвили, Ю.И.Бауков, Е.П.Крамарова. *Журн. общ. химии*, **52**, 2095 (1982)
82. Э.Лукевиц, Э.Лиепиньш, Э.П.Попова, В.Д.Шатц, В.А.Беликов. *Журн. общ. химии*, **50**, 388 (1980)
83. S.Shimizu, M.Ogata. *J. Org. Chem.*, **52**, 2314 (1987)
84. WO PCT 8602071; *Chem. Abstr.*, **105**, 74389 (1986)
85. Пат. 3539993 Германия; *Chem. Abstr.*, **107**, 59043 (1987)
86. Р.Я.Стуркович, Ю.Ш.Гольдберг, Н.Г.Проданчук, Э.Лукевиц. В кн. *Химия и практическое применение кремнийорганических соединений. (Тез. докл. 7-го совещ.)*. Ленинград, 1989. С. 23
87. R.Sturkovich, Yu.Goldberg, V.Verovsky, I.Augustane, N.Prodanchuk, S.Deineka, E.Lukevics. *Appl. Organomet. Chem.*, **3**, 393 (1989)
88. A. Werner, G. Albrecht, B. Karin. *Z. Chem.*, **30**, 285 (1990)
89. Э.Я.Лукевиц, Э.П.Попова. *Изв. АН ЛатвССР. Сер. хим.*, 207 (1978)
90. В.Д.Шелудяков, Н.А.Викторов, А.С.Ткачев, В.Ф.Миронов. *Журн. общ. химии*, **47**, 90 (1977)
91. Э.Лукевиц, А.А.Зидерман, А.Ж.Дауварте, Т.В.Лапина, Л.Н.Хохлова, И.Д.Сегал. *Хим.-фармацевт. журн.*, **12** (7), 62 (1978)
92. Э.Лукевиц, И.Д.Сегал, Т.В.Лапина, Е.И.Бореко, Г.В.Владыко, Л.В.Коробченко, А.Н.Евстропов. *Изв. АН ЛатвССР. Сер. хим.*, 720 (1986)
93. Э.Лукевиц, Т.В.Лапина, И.Д.Сегал, И.С.Аугустане, В.Н.Веровский. *Хим.-фармацевт. журн.*, **22**, 947 (1988)
94. Пат. 61207392 Япония; *Chem. Abstr.*, **106**, 50440 (1987)
95. Н.А.Калашникова, Е.П.Крамарова, О.Б.Артамкина, А.Г.Шипов, Ю.И.Бауков. *Журн. общ. химии*, **63**, 1193 (1993)
96. R.Osman, D.Gertner, A.Shenhar, A.Zilkha. *Isr. J. Chem.*, **10**, 799 (1972); *Chem. Abstr.*, **78**, 71883 (1973)
97. Э.Лукевиц, Т.В.Лапина. *Химия гетероцикл. соединений*, 807 (1975)
98. А.с. 492166 СССР; *Бюл. изобрет.*, (45), 225 (1976)
99. Э.Я.Лукевиц, А.Е.Александрова, Т.В.Лапина, Б.И.Вишневы, Л.Д.Царапкина. *Изв. АН ЛатвССР. Сер. хим.*, 707 (1982)
100. J.H.Wengrovius, V.M.Powell, J.L.Webb. *J. Org. Chem.*, **59**, 2813 (1994)
101. В.Д.Шелудяков, Н.А.Викторов, Г.В.Рясин, В.Ф.Миронов. *Журн. общ. химии*, **42**, 364 (1972)
102. В.Д.Шелудяков, С.В.Шелудякова, А.В.Кисин, М.Г.Кузнецова, В.Ф.Миронов. *Журн. общ. химии*, **50**, 871 (1980)
103. Н.С.Наметкин, В.Н.Перченко, И.А.Грушевенко, М.Э.Кузовкина. *Докл. АН СССР*, **186**, 1089 (1969)
104. E.Lukevics, V.Dirnens. *Frontiers of Organosilicon Chemistry. (Proc. Int. Symp. Organosilicon Chem., 9th 1991)*. Р. 378; *Chem. Abstr.*, **115**, 114570 (1991)
105. Э.Лукевиц, В.В.Дирненс. *Латв. хим. журн.*, **2**, 131 (1992)
106. Л.Е.Ледина, В.Н.Перченко, Н.С.Наметкин, А.М.Крапивин. *Докл. АН СССР*, **243**, 1200 (1978)
107. W.Caseri, P.S.Pregosin. *Organometallics*, **7**, 1373 (1988)
108. Э.Я.Лукевиц, Т.В.Лапина, Э.Э.Лиепиньш, И.Д.Сегал. *Химия гетероцикл. соединений*, 962 (1977)
109. Э.Я.Лукевиц, А.Е.Пестунович, М.Г.Воронков, Т.М.Купч. *Химия гетероцикл. соединений*, 485 (1972)
110. Э.Лукевиц, С.К.Германе, Н.П.Ерчак, Э.П.Попова. *Хим.-фармацевт. журн.*, **12** (2), 67 (1978)
111. E.Lukevics, L.Ignatovich, Yu.Goldberg, F.Polyak, A.Gaukhman, S.Rozite, J.Popelis. *J. Organomet. Chem.*, **348**, 11 (1988)
112. Пат. 711778 Европа; *Chem. Abstr.*, **125**, 67187 (1996)
113. А.с. 1073248 СССР; *Бюл. изобрет.*, (6), 77 (1984)
114. Пат. 76-26289 Япония; *Chem. Abstr.*, **85**, 44931 (1976)
115. Пат. 77-42873 Япония; *Chem. Abstr.*, **87**, 117773 (1977)
116. Т.Г.Щекина, В.М.Копылов, Л.М.Шмуйлович, Ф.П.Крендаль, Л.В.Левина, М.Г.Воронков. *Хим.-фармацевт. журн.*, **19**, 165 (1985)
117. В.Е.Шкловер, Ю.Э.Овчинников, Ю.Т.Стручков, В.М.Копылов, Т.Г.Ковязина, М.Г.Воронков. *Докл. АН СССР*, **284**, 131 (1985)
118. М.Г.Воронков. *Изв. АН СССР. Сер. хим.*, 2664 (1991)
119. М.Г.Воронков, Г.И.Зелчан, Э.Я.Лукевиц. *Кремний и жизнь*. Зинатне, Рига, 1978
120. В.Б.Пухнарович, Л.И.Копылова, С.Е.Коростова, А.И.Михалева, Л.Н.Балабанова, А.Н.Васильев, М.В.Сигалов, Б.А.Трофимов, М.Г.Воронков. *Журн. общ. химии*, **49**, 116 (1979)
121. Л.И.Копылова, С.Е.Коростова, Л.Н.Собенина, Р.Н.Нестеренко, М.В.Сигалов, А.И.Михалева, Б.А.Трофимов, М.Г.Воронков. *Журн. общ. химии*, **51**, 1778 (1981)
122. В.Б.Пухнарович, Э.Лукевиц, Л.И.Копылова, М.Г.Воронков. *Перспективы гидросилилирования*. Ин-т орг. синтеза Латв. АН, Рига, 1992
123. Л.И.Копылова, С.Е.Коростова, В.Б.Пухнарович, М.Г.Воронков. *Журн. общ. химии*, **66**, 86 (1996)
124. Э.Лукевиц, А.Е.Пестунович, В.А.Пестунович, М.Г.Воронков. *Журн. общ. химии*, **40**, 624 (1970)
125. Э.Лукевиц, А.Е.Пестунович, В.А.Пестунович, Э.Э.Лиепиньш, М.Г.Воронков. *Журн. общ. химии*, **41**, 1585 (1971)
126. Г.С.Гольдин, М.В.Максакова, В.Г.Поддубный, А.Н.Кольцова, А.В.Кисин, В.Н.Торочешников, А.А.Симонова. *Журн. общ. химии*, **44**, 115 (1974)
127. E.Lukevics, V.V.Dirnens, Y.S.Goldberg, E.E.Liepinsh, I.Ya.Kalvinsh, M.V.Shimanska. *J. Organomet. Chem.*, **268**, C29 (1984)
128. S.-i.Murahashi, T.Naota, T.Nakato. *Synlett*, 835 (1992)
129. Э.Лукевиц, В.В.Дирненс. *Изв. АН ЛатвССР. Сер. хим.*, 236 (1990)
130. Э.Лукевиц, В.В.Дирненс. *Латв. хим. журн.*, 282 (1992)
131. E.Lukevics, V.Dirnens, A.Kemme, J.Popelis. *J. Organomet. Chem.*, **521**, 235 (1996)
132. D.D.Dhavale, C.Trombini. *Heterocycles*, **34**, 2253 (1992)
133. М.Г.Воронков, А.Е.Пестунович, Н.Н.Власова, Т.В.Кашик, Т.И.Никифорова, А.И.Албанов, Ю.Н.Пожидаев, С.В.Амосова. *Журн. общ. химии*, **63**, 869 (1993)
134. S.M.Deng, X.Li. *Chin. Chem. Lett.*, **6**, 271 (1995); *Chem. Abstr.*, **123**, 83453 (1995)
135. А.И.Албанов, Ю.И.Бауков, М.Г.Воронков, Е.П.Крамарова, М.Ф.Ларин, В.А.Пестунович. *Журн. общ. химии*, **53**, 246 (1983)
136. M.G.Voronkov, V.A.Pestunovich, Yu.L.Frolov. In *Advances in Organosilicon Chemistry*. Mir, Moscow, 1985. Р. 54
137. Е.П.Крамарова, Г.И.Оленева, А.Г.Шипов, А.А.Мачарашвили, В.Е.Шкловер, Ю.Т.Стручков, Ю.И.Бауков. *Изв. АН СССР. Сер. хим.*, 2156 (1986)
138. I.D.Kalikhman, A.I.Albanov, O.B.Bannikova, L.I.Belousova, M.G.Voronkov, V.A.Pestunovich, A.G.Shipov, E.P.Kramarova, Yu.I.Baukov. *J. Organomet. Chem.*, **361**, 147 (1989)
139. Ю.И.Бауков, Е.П.Крамарова, А.Г.Шипов, Г.И.Оленева, О.Б.Артамкина, А.И.Албанов, М.Г.Воронков, В.А.Пестунович. *Журн. общ. химии*, **59**, 127 (1989)
140. А.Г.Шипов, Е.П.Крамарова, О.Б.Артамкина, Ю.И.Бауков. *Журн. общ. химии*, **59**, 2629 (1989)
141. М.Г.Воронков, В.А.Пестунович, Ю.И.Бауков. *Металлоорг. химия*, **4**, 1210 (1991)

142. Е.П.Крамарова, А.Г.Шипов, Ю.И.Бауков. *Журн. общ. химии*, **62**, 2559 (1992)
143. А.Г.Шипов, Е.П.Крамарова, Ю.И.Бауков. *Журн. общ. химии*, **64**, 1220 (1994)
144. Yu.I.Baukov, A.G.Shipov, E.P.Kramarova, L.S.Smirnova, S.Yu.Bylikin, Vad.V.Negrebetsky, Yu.E.Ovchinnikov. In *The XIIth Fechem Conference on Organometallic Chemistry. (Abstracts of Reports)*. Prague, 1997. P. 49
145. М.Г.Воронков, А.И.Албанов, А.Е.Пестунович, В.Н.Сергеев, С.В.Пестунович, И.И.Кандрор, Ю.И.Бауков. *Металлоорг. химия*, **1**, 1435 (1988)
146. Е.П.Крамарова, Н.А.Анисимова, Ю.И.Бауков. *Журн. общ. химии*, **61**, 1406 (1991)
147. Е.П.Крамарова, Н.А.Анисимова, Т.А.Жарковская, А.Г.Шипов, Н.М.Голощапов, Ю.И.Бауков. В кн. *Биологическая активность соединений кремния, германия и олова. (Тез. докл. 4-ой Всесоюз. конф.)*. Иркутск, 1990. С. 17
148. Е.П.Крамарова, Л.С.Смирнова, О.Б.Артаткина, А.Г.Шипов, Ю.И.Бауков, Ю.Э.Овчинников, А.О.Мозжухин, Ю.Т.Стручков. *Журн. общ. химии*, **63**, 2275 (1993)
149. Н.А.Орлова, А.Г.Шипов, Ю.И.Бауков, А.О.Мозжухин, М.Ю.Антипин, Ю.Т.Стручков. *Металлоорг. химия*, **5**, 666 (1992)
150. А.с. 346306 СССР; *Бюл. изобрет.*, (23), 100 (1972)
151. V.D.Sheludiyakov. In *The Xth International Symposium on Organosilicon Chemistry. (Abstracts of Reports)*. Poznan, 1993. P. 257
152. D.Kummer, S.C.Chaudhry, J.Seifert, B.Deppisch, G.Mattern. *J. Organomet. Chem.*, **382**, 345 (1990)
153. А.И.Албанов, В.А.Пестунович, О.М.Трофимова, Н.Ф.Чернов, М.Г.Воронков, А.Г.Шипов, Е.П.Крамарова, Ю.И.Бауков. В кн. *Строение и реакционная способность кремнийорганических соединений. (Тез. докл. IV Всесоюз. конф.)*. Иркутск, 1989. С. 59
154. А.И.Албанов, В.А.Пестунович, О.М.Трофимова, Н.Ф.Чернов, М.Г.Воронков. *Журн. общ. химии*, **66**, 1949 (1996)
155. Пат. 3034723 ФРГ; *Chem. Abstr.*, **95**, 43091 (1981)
156. Э.Я.Лукевич, Т.В.Лапина, И.Д.Сегал. *Изв. АН ЛатвССР. Сер. хим.*, 111 (1987)
157. Т.В.Балабанова, Е.А.Ильясов, Г.Г.Галустьян. *Узб. хим. журн.*, (3), 43 (1991)
158. Э.Лукевич, М.Трушуле. *Химия гетероцикл. соединений*, 1653 (1996)
159. Пат. 06279461 Япония; *Chem. Abstr.*, **123**, 116230 (1995)
160. Пат. 06279456 Япония; *Chem. Abstr.*, **123**, 116232 (1995)
161. Пат. 06279464 Япония; *Chem. Abstr.*, **123**, 116233 (1995)
162. Пат. 06279458 Япония; *Chem. Abstr.*, **123**, 116231 (1995)
163. H.J.Hoorn, P.de Joode, W.L.Driessen, J.Reedijk. *React. Funkt. Polym.*, **27**, 223 (1995); *Chem. Abstr.*, **124**, 38543 (1996)
164. Пат. 06279463 Япония; *Chem. Abstr.*, **123**, 116234 (1995)
165. Пат. 06279462 Япония; *Chem. Abstr.*, **123**, 202912 (1995)
166. C.Strohmann, R.Tacke, G.Mattern, W.F.Kuhs. *J. Organomet. Chem.*, **403**, 63 (1991)
167. И.Е.Саратов, И.В.Шпак, В.О.Рейхсфельд. *Журн. общ. химии*, **51**, 396 (1981)
168. T.Kondo, K.Yamamoto, M.Kumada. *J. Organomet. Chem.*, **35**, C30 (1972)
169. S.Shimizu, M.Ogata. *J. Org. Chem.*, **51**, 3897 (1986)
170. A.Ricci, A.Degl'Innocenti, M.Florenza, M.Taddei, M.A.Spartera, D.R.M.Walton. *Tetrahedron Lett.*, **23**, 577 (1982)
171. I.P.Andrews, N.J.Lewis, A.Mckillop, A.S.Wells. *Heterocycles*, **43**, 1151 (1996)
172. Y.Ito, S.Miyata, M.Nakatsuka, T.Saegusa. *J. Am. Chem. Soc.*, **103**, 5250 (1981)
173. Г.Г.Якобсон, В.В.Бардин. *Фторид-ион в органической химии*. Наука, Новосибирск, 1986
174. T.Konakahara, Y.Ono, S.Tamura. *Electron. Conf. Heterocycl. Chem. Cambridge, UK*, 1996; *Chem. Abstr.*, **127**, 205459 (1997)
175. Э.Я.Лукевич, Л.И.Либерт, М.Г.Воронков. *Изв. АН ЛатвССР. Сер. хим.*, 451 (1972)
176. А.с. 579275 СССР; *Бюл. изобрет.*, (41), 86 (1977)
177. Ю.Э.Овчинников, В.Е.Шкловер, Ю.Т.Стручков, В.М.Копылов, Т.Г.Ковязина, М.Г.Воронков. *Журн. структ. химии*, **27**, 133 (1986)
178. Ю.Э.Овчинников, Ю.Т.Стручков, Н.Ф.Чернов, О.М.Трофимова, М.Г.Воронков. *Докл. АН*, **328**, 330 (1993)
179. R.Krebs, D.Schomburg, R.Schmutzler. *Z. Naturforsch., B Chem. Sci.*, **40**, 282 (1985)
180. О.М.Трофимова, Н.Ф.Чернов, А.И.Албанов, В.А.Пестунович, М.Г.Воронков. В кн. *Строение и реакционная способность кремнийорганических соединений. (Тез. докл. IV Всесоюз. конф.)*. Иркутск, 1989. С. 63
181. Yu.E.Ovchinnikov, Yu.T.Struchkov, N.F.Chernov, O.M.Trofimova, M.G.Voronkov. *J. Organomet. Chem.*, **461**, 27 (1993)
182. R.Tacke, J.Becht, A.Lopez-Mras, W.S.Sheldrick, A.Seibald. *Inorg. Chem.*, **32**, 2761 (1993)
183. R.Tacke, A.Lopez-Mras, J.Becht, W.S.Sheldrick. *Z. Anorg. Allg. Chem.*, **619**, 1012 (1993)
184. О.Б.Артаткина, Е.П.Крамарова, А.Г.Шипов, Ю.И.Бауков, А.А.Мачарашвили, Ю.Э.Овчинников, Ю.Т.Стручков. *Журн. общ. химии*, **63**, 2289 (1993)
185. А.Г.Шипов, Е.П.Крамарова, О.Б.Артаткина, Г.И.Оленева, Н.А.Непомнящая, Ю.И.Бауков. *Журн. общ. химии*, **65**, 272 (1995)
186. О.Б.Артаткина, А.Г.Шипов, М.Насим, Д.П.Крутько, Г.С.Зайцева, Ю.И.Бауков. *Металлоорг. химия*, **4**, 694 (1991)
187. А.Г.Шипов, Е.П.Крамарова, О.Б.Артаткина, Ю.И.Бауков. *Металлоорг. химия*, **4**, 1101 (1991)
188. О.Б.Артаткина, Е.П.Крамарова, А.Г.Шипов, Ю.И.Бауков, А.А.Мачарашвили, Ю.Э.Овчинников, Ю.Т.Стручков. *Журн. общ. химии*, **64**, 263 (1994)
189. О.Б.Артаткина, А.Г.Шипов, Ю.И.Бауков. *Журн. общ. химии*, **65**, 2005 (1995)
190. М.Г.Воронков, Ю.Н.Пожидаев, Н.Ф.Чернов, О.М.Трофимова. *Докл. АН*, **326**, 827 (1992)
191. Пат. 2629136 Германия; *Chem. Abstr.*, **86**, 140987 (1977)
192. Э.Э.Лиепиньш, И.Д.Сегал, Э.Лукевич. *Изв. АН ЛатвССР. Сер. хим.*, 454 (1990)
193. N.F.Chernov, O.M.Trofimova, M.G.Voronkov. In *The 16th International Conference on Organometallic Chemistry. (Abstracts of Reports)*. London, 1994. P. 282
194. Н.К.Скворцов, Н.Ф.Чернов, О.М.Трофимова, В.К.Бельский, В.М.Светличная, М.Г.Воронков. *Журн. общ. химии*, **64**, 54 (1994)
195. Н.Н.Чипанина, Л.В.Шерстяникова, О.М.Трофимова, Н.Ф.Чернов, М.Г.Воронков, В.К.Турчанинов. *Журн. общ. химии*, (1999) (в печати)
196. Пат. 4412332 ФРГ; *Chem. Abstr.*, **124**, 87355 (1996)
197. Пат. 08231541 Япония; *Chem. Abstr.*, **125**, 328710 (1996)
198. W.K.Moberg, G.S.Basarab, J.Cuomo, P.H.Liang. *Pestic. Sci. Biotechnol. (Proc. Int. Congr. Pestic. Chem., 6th 1986)*. P. 57; *Chem. Abstr.*, **107**, 213470 (1987)
199. H.Takano, T.Kato. *Pestic. Sci. Biotechnol. (Proc. Int. Congr. Pestic. Chem., 6th 1986)*. P. 197; *Chem. Abstr.*, **107**, 213471 (1987)
200. Пат. 3609645 ФРГ; *Chem. Abstr.*, **108**, 70626 (1988)
201. Пат. 06279455 Япония; *Chem. Abstr.*, **123**, 169880 (1995)
202. Пат. 07149769 Япония; *Chem. Abstr.*, **123**, 804646 (1995)
203. Z.Xia, W.Zhu, Z.Zhang. *Zhongnan Gongye Daxue Xuebao*, **26**, 522 (1995); *Chem. Abstr.*, **124**, 176256 (1995)
204. Пат. 07101961 Япония; *Chem. Abstr.*, **123**, 199141 (1995)
205. Пат. 08059675 Япония; *Chem. Abstr.*, **125**, 10821 (1996)
206. Пат. 08143579 Япония; *Chem. Abstr.*, **125**, 496977 (1996)
207. Пат. 4339581 США; *Chem. Abstr.*, **98**, 34755 (1983)
208. Пат. 3221214 Германия; *Chem. Abstr.*, **100**, 175060 (1984)
209. Пат. 263299 Европа; *Chem. Abstr.*, **109**, 73459 (1988)
210. Пат. 5502054 США; *Chem. Abstr.*, **125**, 10859 (1996)
211. Пат. 4352833 США; *Chem. Abstr.*, **98**, 12951 (1983)
212. Ю.Р.Колесник, О.К.Гриб, Л.А.Ускова, Ю.В.Светкин. *Физиол. актив. вещества*, **21**, 92 (1989)
213. R.Tacke, B.Becker, D.Berg, W.Brandes, S.Dutzmann, K.Schaller. *J. Organomet. Chem.*, **438**, 45 (1992)
214. T.M.Fort, W.K.Moberg. *Proc. - Br. Crop Prot. Conf. - Pests Dis.*, (2), 413 (1984); *Chem. Abstr.*, **103**, 136973 (1985)
215. J.H.Lonsdale, J.M.Kotze. *Plant Dis.*, **77**, 558 (1993); *Chem. Abstr.*, **119**, 175772 (1993)
216. K.B.Johnson, J.W.Pscheidt, J.N.Pinkerton. *Plant Dis.*, **77**, 813 (1993) *Chem. Abstr.*, **119**, 197672 (1993)
217. B.S.Watters, S.R.Sturgeon. *Tests Agrochem. Cultiv.*, **14**, 26 (1993); *Chem. Abstr.*, **119**, 197677 (1993)

218. R.A.Guinivan, M.R.Gagnon. *J. AOAC Int.*, **77**, 728 (1994); *Chem. Abstr.*, **121**, 52240 (1994)
219. N.W.McLaren, S.Aft. *J. Plant Soil*, **11**, 30 (1994); *Chem. Abstr.*, **121**, 52254 (1994)
220. WO PCT 9413784; *Chem. Abstr.*, **121**, 101991 (1994)
221. E.A.Milus, C.E.Parsons. *Plant Dis.*, **78**, 697 (1994); *Chem. Abstr.*, **121**, 172941 (1994)
222. G.L.Bateman, D.Hornby, R.W.Payne, P.H.Nicholls. *Ann. Appl. Biol.*, **124**, 241 (1994); *Chem. Abstr.*, **121**, 294976 (1994)
223. H.Hindorf, C.Pohl. *BCPC Monogr.*, **60**, 121 (1994); *Chem. Abstr.*, **121**, 296986 (1994)
224. P.L.Sholberg, P.Haag, D.A.Gaudet. *Can. J. Plant Sci.*, **75**, 515 (1995); *Chem. Abstr.*, **123**, 81989 (1995)
225. Пат. 663148 Европа; *Chem. Abstr.*, **123**, 105275 (1995)
226. A.Balinova. *Anal. Chim. Acta*, **311**, 423 (1995)
227. J.-W.Huang, J.-H.Chen, W.-C.Chung, S.-H.Yang. *Guoli Zhongxing Daxue Nonglin Xuebao*, **44**, 13 (1995); *Chem. Abstr.*, **123**, 163207 (1995)
228. C.Grant, R.Kennedy. *Tests Agrochem. Cultiv.*, **16**, 16 (1995); *Chem. Abstr.*, **124**, 23813 (1996)
229. P.C.Mercer, A.Ruddock. *Tests Agrochem. Cultiv.*, **16**, 32 (1995); *Chem. Abstr.*, **124**, 23819 (1996)
230. K.P.Dawson. *BCPC Symp. Proc.*, **63**, 379 (1995); *Chem. Abstr.*, **124**, 138538 (1996)
231. Пат. 4128 Литва; *Chem. Abstr.*, **127**, 81454 (1997)
232. Пат. 08259855 Япония; *Chem. Abstr.*, **126**, 76227 (1997)
233. Э.Я.Лукевиц, М.Г.Воронков. *Докл. АН СССР*, **216**, 103 (1974)
234. Пат. 63170387 Япония; *Chem. Abstr.*, **111**, 96984 (1989)
235. А.с. 540459 СССР; *Бюл. изобрет.*, (9), 252 (1978)
236. А.с. 2465246 СССР; *РЖХим.*, 2 Р 435 П (1981)
237. D.S.Im, M.Y.Sohn, G.S.Cho, H.J.Chae. *Han guk Somyu Konghakhoechi*, **29**, 273 (1992); *Chem. Abstr.*, **119**, 205370 (1993)
238. Пат. 0129385 Япония; *Chem. Abstr.*, **111**, 98796 (1989)
239. Пат. 07233177 Япония; *Chem. Abstr.*, **124**, 66585 (1995)
240. А.П.Стурис, Ю.А.Банковский, Р.С.Миезере. *Латв. хим. журн.*, 144 (1995)
241. Пат. 4379931 США; *Chem. Abstr.*, **99**, 5816 (1983)
242. M.Čapka, U.Schubert, B.Heinrich, J.Hjortkjaer. *Coll. Czech. Chem. Commun.*, **57**, 2615 (1992)
243. Заявка 62100462 Япония; *РЖХим.*, 23 У 326 П (1989)
244. Пат. 665233 Европа; *Chem. Abstr.*, **123**, 316811 (1995)
245. Пат. 0967383 Япония; *Chem. Abstr.*, **126**, 277596 (1997)
246. Пат. 0539295 Япония; *Chem. Abstr.*, **119**, 107509 (1993)
247. Пат. 94-106871 Япония; *Chem. Abstr.*, **124**, 343651 (1996)
248. Пат. 0873746 Япония; *Chem. Abstr.*, **125**, 35566 (1996)
249. Пат. 4820751 США; *РЖХим.*, 6 У 62 П (1990)
250. Пат. 0551484 Япония; *Chem. Abstr.*, **119**, 119294 (1993)
251. Пат. 683203 Европа; *Chem. Abstr.*, **124**, 119884 (1996)
252. Y.Akutsu, M.Kumagai. *Koen Yoshishu-Nippon Setchaku Gakkai Nenji Taikai*, 34th 1996. P. 99; *Chem. Abstr.*, **125**, 223406 (1996)
253. Пат. 08311078 Япония; *Chem. Abstr.*, **126**, 118075 (1997)
254. Пат. 0753721 Япония; *Chem. Abstr.*, **123**, 199766 (1995)
255. Пат. 94144121 Япония; *Chem. Abstr.*, **125**, 12409 (1996)

ALKOXY(ALKYL)SILYLALKYL-DERIVATIVES OF NITROGEN-CONTAINING HETEROCYCLES

O.M.Trofimova, N.F.Chernov, M.G.Voronkov

Irkutsk Institute of Chemistry, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences

1, Ul. Favorskogo, 664033 Irkutsk, Russian Federation, Fax +7(395)239-6046

Irkutsk State Pedagogical University

6, Ul. Nizhnyaya Naberezhnaya, 664011 Irkutsk, Russian Federation, Fax +7(395)224-0559

Published data devoted to the methods of synthesis, properties and transformations of alkoxy(alkyl)-silylalkyl-derivatives of nitrogen-containing heterocycles of general formula $\text{Het}(\text{CH}_2)_n\text{SiX}_3$ are surveyed and analysed systematically. Data on the biological activity and use of these compounds are presented. Bibliography — 255 references.

Received 28th May 1998