

УДК 541.64:543.544

## АНАЛИЗ КРЕМНИЙОРГАНИЧЕСКИХ ОЛИГОМЕРОВ МЕТОДОМ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОЙ ЖИДКОСТНОЙ ХРОМАТОГРАФИИ

© 1998 г. Г. Н. Туркельтауб, П. В. Иванов, А. Г. Кузнецова, Н. А. Попова, Е. А. Чернышев

Московская государственная академия тонкой химической технологии им. М. В. Ломоносова  
117571 Москва, пр. Вернадского, 86

Поступила в редакцию 16.09.97 г.

Принята в печать 25.11.97 г.

Разработаны условия анализа кремнийорганических олигомеров методом жидкостной хроматографии. Для разделения олигоорганосилоксанов, олигоорганосиленов и олигоорганокарбосиленов, представляющих собой сложные полидисперсные смеси, использован обращенно-фазный и нормально-фазный варианты хроматографии. Применение последнего позволяет надежно разделять гомологи различного строения с числом атомов кремния до 100 и ММ до нескольких десятков тысяч. Получены данные о составе ряда промышленных кремнийорганических продуктов.

Интерес к хроматографическому разделению кремнийорганических соединений возник в начале шестидесятых годов [1–5], однако по данным авторов обзора [6], анализу кремнийорганических соединений методом высокоеффективной жидкостной хроматографии посвящено лишь несколько десятков работ. При этом практически отсутствуют сведения о разделении олигомерных и полимерных соединений. Наиболее широко распространен анализ кремнийорганических олигомеров с помощью ГПХ, которая является косвенным методом и позволяет получать лишь усредненные характеристики.

Целью исследования является разработка методик анализа ряда олигоорганосилоксанов, олигоорганосиленов и олигоорганокарбосиленов, составляющих основу большинства кремнийорганических продуктов, с помощью высокоеффективной жидкостной хроматографии.

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Использовали олигоорганосилоксаны, серийно выпускаемые промышленностью: ПМС-10, ПФМС-4, ПФМС-5, ПФМС-6, ПМТС-1, ФС-16, ФС-303. Кроме того, синтезировали соединения, которые могли быть использованы в качестве стандартов. Среди них продукт каталитической перегруппировки (катализатор KOH)  $(\text{CH}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{SiO})_3$  и  $(\text{CH}_3(\text{C}_6\text{H}_5)_2\text{Si})_2\text{O}$  (соотношение  $\text{CH}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{SiO} : \text{CH}_3(\text{C}_6\text{H}_5)_2\text{SiO}_{0.5} = 50 : 2$ ) в присутствии ДМФА (ОФМС-50). Продукт ОФМС-50 фракционировали осаждением из 10%-ного раствора в ацетоне на пять фракций (от ОФМС-50-1 до ОФМС-50-5). Осадитель вода. Помимо этого синтезировали продукты с соотношением  $\text{CH}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{SiO} : \text{CH}_3(\text{C}_6\text{H}_5)_2\text{SiO}_{0.5} = 8 : 2, 9 : 2$  и  $10 : 2$ , ко-

торые обозначены соответственно ОФМС-8, ОФМС-9 и ОФМС-10. Получали и выделяли препаративно различные органосилоксанолы:  $\text{HO}[\text{SiMePhO}]_n\text{H}$  ( $n = 1–4$ ) и  $\text{HO}[\text{Si}(\text{OH})\text{PhO}]_n\text{H}$  ( $n = 1–4$ ).

Идентификацию осуществляли с помощью зависимости логарифма фактора емкости  $k$  от числа атомов кремния  $n$  для индивидуальных соединений, выделенных методом препаративной газовой (ПАХВ-07) и жидкостной хроматографии [4, 7]. Выделены гомологи олигодиметилсилоксанов с числом атомов кремния  $n$  от 2 до 9, олигометилфенилсилоксанов с  $n$  от 2 до 17, олигометилтиенилсилоксанов с  $n$  от 2 до 5, олигометил- $\gamma$ -трифторметилсилоксанов с  $n$  от 2 до 8 [4, 7]. Индивидуальные олигоорганосилены выделяли на препаративном газовом хроматографе “Фрактовар Р” фирмы “Carlo Erba”.

Разделение проводили на чешском жидкостном хроматографе LC 822 в изократическом режиме (колонки  $150 \times 3.3$  мм). В распределительном варианте использовали силикагель марки сепарон SGX с привитым октадецилсиленом (C18)<sup>1</sup>. В качестве подвижной фазы применяли ацетонитрил, метanol. В распределительном варианте с полярной привитой нитрильной фазой (CN) подвижной фазой служила смесь *n*-гексана с 1,4-диоксаном. Адсорбционный вариант осуществлен на сепароне SGX и Силасорбе 600, элюент смесь *n*-гексана с 1,4-диоксаном. Детектирование осуществляли с помощью спектрофотометра LCD 2563 и рефрактометра RIDK 102.

<sup>1</sup> В дальнейшем в тексте статьи для краткости сепарон SGX будет обозначаться SEP, силасорб 600 – SIL; с привитыми фазами: SEP-C18, SIL-C18 и SEP-CN.

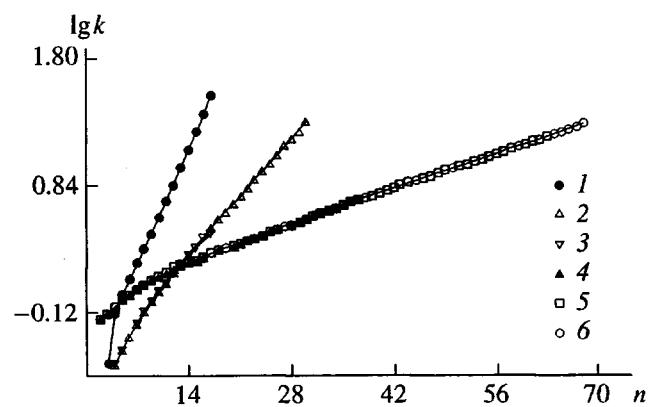


Рис. 1. Зависимость фактора емкости  $k$  олигометилфенилсилоксанов от числа атомов кремния  $n$  для фракций: 1 – ОФМС-50-1 (SEP-C18), 2 – ОФМС-50-1 (SEP-CN), 3 – ОФМС-9 (SEP-CN), 4–6 – ОФМС-50-1, ОФМС-50-2, ОФМС-50-3 (SEP) соответственно.

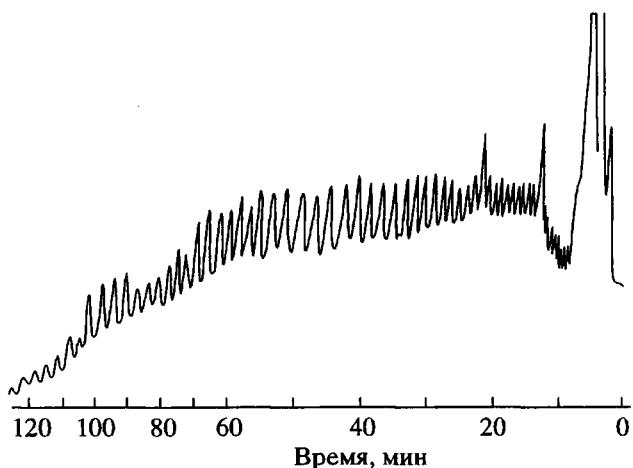


Рис. 2. Хроматограмма фракции ОФМС-50-3 (SEP).

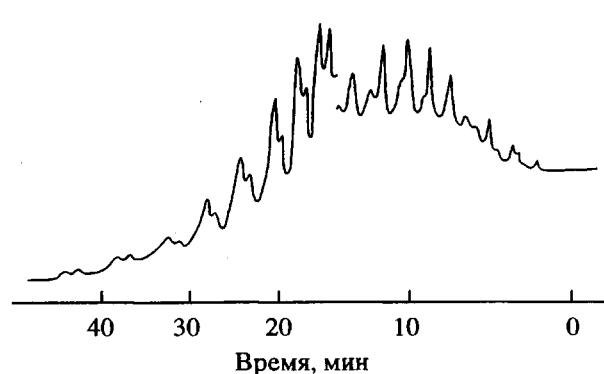


Рис. 3. Хроматограмма жидкости ПФМС-6 (SEP-C18).

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

При анализе кремнийорганической жидкости ОФМС-50 в изократических условиях зависимость фактора емкости  $k$  (времени удерживания) полимергомологов от числа атомов кремния  $n$  описывается уравнением

$$\lg k = a + bn. \quad (1)$$

Отклонения от уравнения (1) наблюдаются при малых значениях  $n$  (рис. 1).

В табл. 1 представлены значения коэффициентов  $a$  и  $b$ , полученные для распределительной хроматографии (образцы 1 и 2) и адсорбционной (образец 3). Обычно [8] для анализа гомологов применяют распределительный вариант хроматографии. Однако, как видно из рис. 1, быстрое возрастание фактора емкости на SEP-C18 (ацетонитрил, метанол) позволяет анализировать не более 20 полимергомологов (кривая 1). Увеличение числа пиков (до 70) достигается в адсорбционной хроматографии (рис. 1 и 2, табл. 1). В таких условиях жидкости ОФМС-8, ОФМС-9 и ОФМС-50-1 элюируют полностью. Подтверждением этого является отсутствие дополнительных пиков при увеличении полярности подвижной фазы. Полное элюирование ОФМС-50-2 достигается при концентрации 22% 1,4-диоксана в *n*-гексане и 27% образцов ОФМС-50-3–ОФМС-50-5. При этом в изократических условиях переставали делиться первые компоненты. Идентификация достигалась при сопоставлении времен удерживания последних пиков фракций ОФМС-50-1 и ОФМС-50-2 с временами удерживания пиков фракций ОФМС-50-3–ОФМС-50-5.

Установлено, что первая фракция содержит гомологи с числом атомов кремния от 2 до 36, следующая – от 2 до 62, третья – от 2 до 80, фракция 4 – до 100, фракция 5 – до 120 гомологов.

Результаты анализа широко известных жидкостей ПФМС-4, ПФМС-5 и ПФМС-6, выпускаемых промышленностью [9], приведены в табл. 1. Эти олигомеры были разделены как в адсорбционном, так и в распределительном вариантах. При анализе ПФМС-6 (рис. 3) на SEP-C18 было обнаружено наличие двух гомологических рядов – линейных и циклических олигосилоксанов (табл. 1).

Наличие концевых гидроксильных групп в линейных олигометилфенилсилоксанах резко меняет характер их элюирования. При хроматографировании соединений общей формулы  $\text{HO}[\text{SiMePhO}]_n\text{H}$  был обнаружен обратный порядок элюирования гомологов как в адсорбционном (SEP), так и распределительном варианте (SEP-CN, табл. 1). Условия разделения на SEP-C18 подобрать не удалось. Установлено (рис. 4), что время удерживания

Таблица 1. Анализ кремнийорганических олигомеров методом высокоэффективной жидкостной хроматографии

Образец	Вещество	Сорбент	Подвижная фаза	$M_n$ [9]	$n = m + 2$	$a$	$b$	
1	$\text{MePh}_2\text{SiO}(\text{MePhSiO})_m\text{SiPh}_2\text{Me}$	(ОФМС-50)	SEP-C18	A	8300	120	-0.718	0.132
2	То же		SEP-CN	$\Delta + \Gamma = 5 + 95$	8300	120	-0.677	0.068
3	»		SEP	$\Delta + \Gamma = 22 + 78$	8300	120	-0.066	0.021
4	$\text{Me}_3\text{SiO}(\text{MePhSiO})_m\text{SiMe}_3$	(ПФМС-4)	SEP-C18	A	1200–1500	13	-0.690	0.130
5	$\text{MePh}_2\text{SiO}(\text{MePhSiO})_m\text{SiPh}_2\text{Me}$	(ПФМС-5)	SEP-C18	»	1100–1300	12	-0.680	0.128
6	$\text{Ph}_3\text{SiO}(\text{MePhSiO})_m\text{SiPh}_3$	(ПФМС-6)	SEP-C18	»	1300–1600	17	-0.457	0.089
7	То же	(ПФМС-6)	SEP-C18	»	1300–1600	17	-0.450	0.090
8	$\text{HO}[\text{SiMePhO}]_n\text{H}$	—	SEP-CN	$\Delta + \Gamma = 5 + 95$	1300–1600	6	1.195	-0.191
9	То же	—	SEP	$\Delta + \Gamma = 15 + 85$	1300–1600	6	1.180	-0.090
10	$\text{HO}[\text{SiPh}(\text{OH})\text{O}]_n\text{H}$	—	SEP-CN	$\Delta + \Gamma = 24 + 76$	1300–1600	6	0.464	0.090
11	$\text{Me}_3\text{SiO}(\text{SiMe}_2\text{O})_m\text{SiMe}_3$	ПМС-10	SEP-C18	A	746	16	-0.351	0.093
12	$(\text{SiMe}_2\text{O})_n$	(ПМС, цикл)	SEP-C18	»	746	13	-0.433	0.103
13	$\text{Me}_3\text{SiO}(\text{SiFpMeO})_k(\text{SiMe}_2\text{O})_m\text{SiMe}_3$	(ФС-303)	SEP-C18	»	2400	30	-0.315	0.065
14	$\text{Me}_3\text{SiO}(\text{SiFpMeO})_k(\text{SiMe}_2\text{O})_m\text{SiMe}_3$	(ФС-16)	SEP-C18	»	980	23	-0.248	0.061
15	$\text{Me}_3\text{SiO}(\text{SiMeTnO})_k(\text{SiMe}_2\text{O})_m\text{SiMe}_3$	(ПМТС-1)	SIL-C18	»	1300	13	-0.701	0.165
16	То же		SIL-C18	»	1300	13	-0.690	0.159
17	»		SIL-C18	»	1300	13	-0.687	0.156

Примечание. А – ацетонитрил, Д – 1,4-диоксан, Г – *n*-гексан;  $\Delta + \Gamma = 15 + 85$ , например, означает, что подвижная фаза из смеси 1,4-диоксана и *n*-гексана в объемном соотношении 15 : 85; Fp –  $\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CF}_3$ ; Tn –  $\text{C}_4\text{H}_3\text{S}$ .

уменьшается с возрастанием  $n$  до пяти, шести, а затем остается практически постоянным и близким к мертвому времени колонки.

Иначе происходит разделение соединений общей формулы  $\text{HO}[\text{SiPh}(\text{OH})\text{O}]_n\text{H}$  на SEP-CN и смеси 1,4-диоксана (24%) с *n*-гексаном (76%) в качестве подвижной фазы (табл. 1). Для этих соединений получена обычная зависимость фактора емкости от числа атомов кремния (рис. 4, кривая 3; табл. 1).

Из сравнения коэффициентов  $a$  и  $b$  для образцов 8, 9 и 10 следует, что отрицательное значение  $b$  связано с характером анализируемых соединений. Объяснение результатов, представленных на рис. 4, может быть дано с помощью упрощенного критерия гидрофобности [8], который отражает изменение полярности молекулы с увеличением номера члена гомологического ряда. Зависимости логарифма фактора емкости от величины критерия гидрофобности  $H$  симметричны зависимостям этого фактора от числа атомов кремния (рис. 4). Это объясняется тем, что для со-

единений ряда  $\text{HO}[\text{Si}(\text{OH})\text{PhO}]_n\text{H}$  соотношение групп  $\text{PhSiO}$  и  $\text{OH}$  не меняется с увеличением числа атомов кремния ( $n > 2$ ), в то время как для соединений  $\text{HO}[\text{SiMePhO}]_n\text{H}$ , содержащих по два

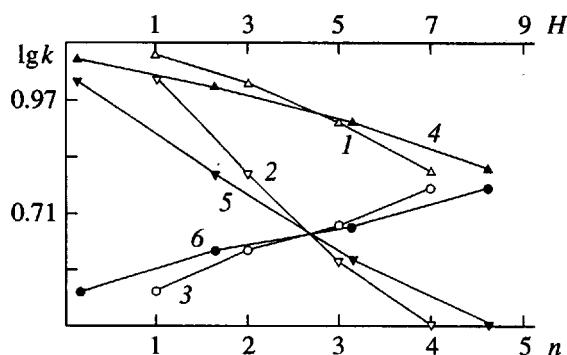


Рис. 4. Зависимость фактора емкости  $k$  от числа атомов кремния  $n$  (1–3) и от критерия гидрофобности  $H$  (4–6) для соединений  $\text{HO}[\text{SiMePhO}]_n\text{H}$  (1, 2, 4, 5) и  $\text{HO}[\text{SiPh}(\text{OH})\text{O}]_n\text{H}$  (3, 6). Сорбенты: SEP (1, 4), SEP-CN (2, 3, 5, 6).

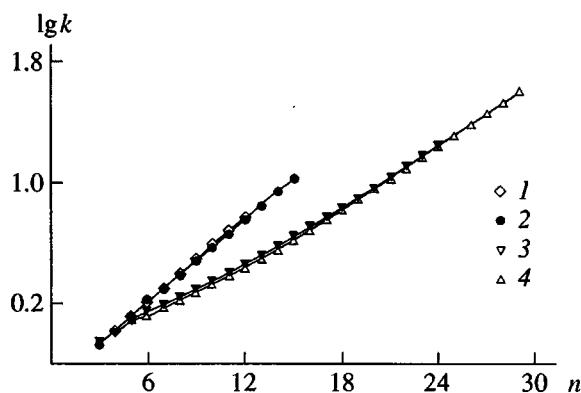


Рис. 5. Зависимость фактора емкости  $k$  олигодиметилсилоксанов и метил- $\gamma$ -трифторметилолигосилоксанов от числа атомов кремния  $n$ : 1 – ПМС-10, 2 – олигодиметилцикlosилоксаны, 3 – ФС-16, 4 – ФС-303; SEP-C18.

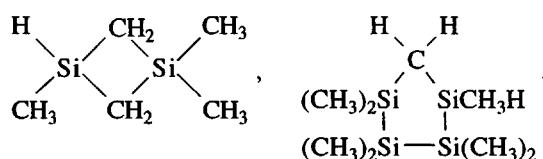
концевых гидроксила, соотношение групп  $\text{MePhSiO}$  и  $\text{OH}$  непрерывно увеличивается. При анализе метил- и  $\gamma$ -трифторметилолигосилоксанов применяли рефрактометрический детектор. Из-за близких значений коэффициентов рефракции движущей фазы ( $n_D = 1.38\text{--}1.42$ ) и анализируемых кремнийорганических веществ ( $n_D = 1.38\text{--}1.40$ ) условия, подобранные для адсорбционной хроматографии, непригодны для анализа большинства олигосилоксанов с помощью рефрактометрического детектора.

В распределительном варианте (SEP-C18, растворитель – метанол) проанализированы метил- $\gamma$ -трифторметилолигосилоксановые жидкости ФС-16, ФС-303, полиметилсилоксановая ПМС-10, отдельные фракции циклических полиметилсилоксанов. Для этих продуктов достигнуто практическое полное элюирование в изократических условиях. Зависимости логарифма фактора емкости от числа атомов кремния представлены на рис. 5 и табл. 1. Меньшая полярность ПМС-10 в сравнении с ФС-16, ФС-303 в условиях обращенно-фазной хроматографии обусловливает несколько большее значение коэффициента  $b$ .

Анализ ПМС-10 и ФС-303 показал, что каждая из этих жидкостей состоит из олигомеров одного гомологического ряда. При анализе полиметилтиенилсилоксановой жидкости ПМТС-1 были обнаружены продукты, относящиеся к трем гомологическим рядам. В табл. 1 представлены коэффициенты уравнения (1), соответствующие олигодиметилсилоксанам (образец 15), олигометилтиенилсилоксанам с одной тиенильной группой (образец 16), с двумя тиенильными группами (образец 17). Анализ этой жидкости проводили при одновременном использовании двух детекторов.

Сложную картину (четыре гомологических ряда для каждой из жидкостей) наблюдали в случае линейных олигометилдихлорфенилсилоксанов (ХС-2-1 и ХС-2-1р) в распределительном варианте (SEP-C18, ацетонитрил). Идентификацию отдельных соединений не проводили.

Метод высокоэффективной жидкостной хроматографии позволяет анализировать очень сложные смеси, состоящие из олигоорганосиланов, олигоорганокарбоксиланов, олигоорганосилоксанов, имеющих различное строение. Такие смеси образуются в результате термического превращения полидиметилсилана. Для идентификации эти соединения выделяли методом прерывистой газовой хроматографии и расшифровывали методами масс-спектрометрии и ЯМР [10]. Состав полученных продуктов представлен в табл. 2. Ряд соединений не удалось идентифицировать, и они обозначены как  $x_i$ . Соединения, обозначенные как  $N_i$ , имеют более сложную структурную формулу. Так,  $N_1$  и  $N_2$  соответствуют соединениям



а  $N_3$  и  $N_4$  – соединения



Для некоторых соединений (табл. 2) общей формулы  $(\text{CH}_3)_3\text{Si}[\text{Si}(\text{CH}_3)_2]_m\text{Si}(\text{CH}_3)_{3-k}\text{H}_k$  и  $[\text{Si}(\text{CH}_3)_2]_n$  в распределительном варианте (SEP-C18, ацетонитрил) получены зависимости логарифма фактора емкости от числа атомов кремния ( $n = m + 2$ ):



$$\lg k = 0.216 + 0.039n + 0.020n^2 \quad (2)$$



$$\lg k = 0.194 + 0.031n + 0.021n^2 \quad (3)$$



$$\lg k = 0.199 + 0.017n + 0.022n^2 \quad (4)$$



$$\lg k = 0.159 + 0.053n + 0.019n^2 \quad (5)$$

Таблица 2. Анализ продуктов термического превращения полидиметилсилана

Образец	Вещество	Время удерживания, мин	Образец	Вещество	Время удерживания, мин
1	$x_1$	2.5	26	$x_8$	7.4
2	$\text{MeSiH}_3$	2.7	27	$x_9$	7.9
3	$\text{Me}_2\text{SiH}_2$	2.8	28	$[(\text{SiMe}_2)_2\text{CH}_2\text{SiMeHSiMe}_2]$	8.3
4	$\text{Me}_3\text{SiH}$	2.9	29	$x_{10}$	8.7
5	$\text{HMe}_2\text{SiSiMe}_2\text{H}$	3.3	30	$\text{HMe}_2\text{Si}(\text{SiMe}_2)_3\text{SiMe}_2\text{H}$	9.1
6	$\text{Me}_3\text{SiSiMeH}_2$	3.7	31	$\text{HMe}_2\text{Si}(\text{SiMe}_2)_3\text{SiMe}_3$	9.8
7	$\text{Me}_3\text{SiSiMe}_2\text{H}$	3.8	32	$[\text{SiMe}_2]_5$	10.5
8	$\text{Me}_3\text{SiCH}_2\text{SiH}_3$	3.9	33	$\text{N}_2$	10.8
9	$\text{HMe}_2\text{SiCH}_2\text{SiMe}_2\text{H}$	4.0	34	$\text{Me}_3\text{Si}(\text{SiMe}_2)_3\text{SiMe}_3$	11.2
10	$\text{Me}_3\text{SiCH}_2\text{SiMeH}_2$	4.1	35	$[(\text{SiMe}_2)_4\text{CH}_2\text{SiMeH}]$	13.5
11	$\text{Me}_3\text{SiCH}_2\text{SiMe}_2\text{H}$	4.2	36	$\text{HMe}_2\text{Si}(\text{SiMe}_2)_4\text{SiMe}_2\text{H}$	14.9
12	$\text{HMeSi}[\text{CH}_2\text{CH}_2]\text{SiMeH}$	4.3	37	$\text{Me}_3\text{Si}(\text{SiMe}_2)_4\text{SiMe}_2\text{H}$	16.0
13	$\text{Me}_3\text{SiSiHMeSiMe}_2\text{H}$	4.4	38	$\text{N}_3$	16.4
14	$\text{Me}_3\text{SiSiMe}_2\text{SiMe}_2\text{H}$	4.5	39	$\text{N}_4$	16.8
15	$x_2$	4.6	40	$[\text{SiMe}_2]_6$	17.4
16	$x_3$	4.8	41	$\text{Me}_3\text{Si}(\text{SiMe}_2)_4\text{SiMe}_3$	18.5
17	$x_4$	4.9	42	$x_{11}$	22.6
18	$x_5$	5.1	43	$\text{HMe}_2\text{Si}(\text{SiMe}_2)_5\text{SiMe}_2\text{H}$	29.3
19	$\text{HMe}_2\text{Si}(\text{SiMe})_2\text{SiMe}_2\text{H}$	5.3	44	$\text{Me}_3\text{Si}(\text{SiMe}_2)_5\text{SiMe}_2\text{H}$	31.0
20	$\text{N}_1$	5.6	45	$[\text{SiMe}_2]_7$	33.8
21	$\text{Me}_3\text{Si}(\text{SiMe})_2\text{SiMe}_2\text{H}$	5.9	46	$\text{Me}_3\text{Si}(\text{SiMe}_2)_5\text{SiMe}_3$	37.1
22	$[\text{SiMe}_2]_4$	6.4	47	$\text{HMe}_2\text{Si}(\text{SiMe}_2)_6\text{SiMe}_2\text{H}$	58.1
23	$x_6$	6.5	48	$\text{Me}_3\text{Si}(\text{SiMe}_2)_6\text{SiMe}_2\text{H}$	63.2
24	$\text{Me}_3\text{Si}(\text{SiMe})_2\text{SiMe}_3$	6.7	49	$[\text{SiMe}_2]_8$	69.3
25	$x_7$	7.0	50	$\text{Me}_3\text{Si}(\text{SiMe}_2)_6\text{SiMe}_3$	78.1

Таким образом разработаны условия хроматографического анализа олигооргансиланов и олигокарбосиланов, линейных и циклических олигооргансилоксанов с  $M = 5000\text{--}15000$ . Очевидно, что прямое определение состава указанных соединений позволит определять их  $M_n$  и  $M_w$  с большей точностью. Проанализированные образцы могут быть использованы в качестве стандартов для ГПХ.

Авторы выражают глубокую благодарность Т.В. Королевой, Д.В. Назаровой, Н.Е. Родзевич и Л.В. Соболевской (ГНЦ ГНИИХТЭОС) за предоставленные образцы анализируемых соединений.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Черноплекова В.А. Газовая хроматография. М.: НИИТЭХим, 1970. Вып. 13. С. 20.
- Rotzche H., Rosler H. // Z. Analyt. Chem. 1961. V. 181. P. 407.
- Туркельтауб Г.Н., Лускина Б.М. Газожидкостная хроматография высококипящих соединений. М.: НИИТЭХим, 1970.
- Туркельтауб Г.Н., Бочкарев В.Н., Галашина М.Л., Гольшева Е.И. // Завод. лаб. 1978. Т. 44. № 3. С. 278.
- Crompton T.R. Gas Chromatography of Organometallic Compounds. New York: Plenum Press, 1982.

6. Беликов В.А., Шатц В.Д., Лукеевич Э. Хроматография органических производных элементов IVB группы. Препринт. Рига: Институт органического синтеза АН ЛатвССР, 1989.
7. Туркельтауб Г.Н., Лускина Б.М., Славцилло С.В. Препартивная газовая хроматография. Черкассы: НИИТЕХим, 1972. С. 122.
8. Шатц В.Д., Сахаркова О.В. Высокоэффективная жидкостная хроматография. Рига: Зинатне, 1988.
9. Соболевский М.В., Скороходов И.И., Гриневич К.П. Олигооргансилоксаны. М.: Химия, 1985.
10. Попова Н.А., Лаврухин Б.Д., Загорецкий Д.В., Туркельтауб Г.Н., Цирлин А.М., Бершицкий А.М., Афонасова О.Б. // Металлоорганическая химия. 1991. Т. 4. № 5. С. 984.

**Analysis of Organosilicon Oligomers  
by High-Performance Liquid Chromatography**

**G. N. Turkel'taub, P. V. Ivanov, A. G. Kuznetsova,  
N. A. Popova, and E. A. Chernyshev**

*Lomonosov State Academy of Fine Chemical Technology,  
pr. Vernadskogo 86, Moscow, 117571 Russia*

**Abstract**—The conditions for the analysis of organosilicon oligomers by liquid chromatography were developed. The reversed- and normal-phase chromatographic techniques were used to separate complex polydisperse mixtures—oligo(organosiloxane)s, oligo(organosilane)s, and oligo(organocarbosilane)s. The use of the normal-phase chromatography made it possible to perform reliable separation of homologs with varying structures containing up to 100 silicon atoms and having molecular masses up to several tenths of thousands. The composition of a number of commercial organosilicon products was investigated.