

Рецепторные свойства нанопористого материала на основе дипептида L-аланил-L-валин по отношению к органическим соединениям и воде

© Ефимова Ирина Георгиевна,¹⁺ Зиганшин Марат Ахмедович,^{1*}
Горбачук Валерий Виленович,¹ Зиганшина Суфия Асхатовна,²
Бухараев Анастас Ахметович²

¹ Кафедра физической химии. Химический институт им. А.М. Бутлерова. КФУ, ул. Кремлевская, 18.

г. Казань, 420008. Республика Татарстан. Россия. Тел.: (843) 233-73-09, Факс: (843) 233-74-16.

² Лаборатория физики и химии поверхности. Казанский физико-технический институт им. Е.К. Завойского КазНЦ РАН, ул. Сибирский тракт, 10/7. г. Казань, 420029. Республика Татарстан. Россия. Тел.: (843) 231-91-07

*Ведущий направление; +Поддерживающий переписку

Ключевые слова: дипептид, биоцеолит, соединения включения, морфология поверхности нанопленок, гравиметрические сенсоры, термогравиметрия, дифференциальная сканирующая калориметрия, атомно-силовая микроскопия.

Аннотация

Методом микровзвешивания на кварцевых микровесах изучены рецепторные свойства дипептида L-аланил-L-валин по отношению к парообразным органическим соединениям и воде. Обратимость связывания изучалась методом совмещенной термогравиметрии и дифференциальной сканирующей калориметрии с масс-спектрометрическим анализом газообразных продуктов разложения. Морфология поверхности тонких пленок дипептида до и после взаимодействия с сорбатами была охарактеризована методом атомно-силовой микроскопии.

Введение

Возросший в последнее время интерес к наноматериалам на основе пептидов обусловлен большими потенциальными возможностями их применения в бионанотехнологии [1-2], в качестве наноконтейнеров для хранения газов [3], в качестве пористых мембран и ионных каналов, селективных к размеру молекул и ионов [4-8]. Наноматериалы на основе пептидов могут быть использованы при создании наноустройств и наномашин [9].

Одним из подходов при разработке таких материалов является использование «строительных блоков», способных к самоорганизации [4, 10]. Весьма перспективными для этих целей считаются относительно небольшие молекулы олигопептидов, в частности, исследуемый в настоящей работе дипептид L-аланил-L-валин [4, 11]. Для этого дипептида известна способность при кристаллизации из растворов самоорганизовываться в спиралевидные наноклоны с диаметров порала $>5 \text{ \AA}$ [12]. При этом рецепторные свойства таких материалов остаются практически неизученными, в частности, для дипептида L-аланил-L-валин известна лишь его способность связывать ксенон [4], метанол и толуол [13]. Обратимость связывания и стабильность образующихся комплексов типа «гость-хозяин» этого дипептида до сих пор не исследовались.

В настоящей работе с помощью сенсоров типа кварцевых микровесов изучены рецепторные свойства тонких пленок дипептида L-аланил-L-валин по отношению к индивидуальным парам органических соединений. Установлены простейшие соотношения типа «структура-свойство» для процессов связывания паров органических соединений. Методом совмещенной термогравиметрии и дифференциальной сканирующей калориметрии с масс-спектрометрическим анализом уходящих газообразных соединений исследована термическая стабильность соединений включения дипептида с органическими соединениями и водой. С помощью атомно-силовой микроскопии исследовалась морфология поверхности тонких пленок дипептида до и после взаимодействия дипептида с органическими соединениями. Показана возможность использования дипептида в качестве рабочего покрытия при разработке гравиметрических сенсоров на основе дипептидов, применяемых в экспертных системах распознавания запаха и вкуса (электронный нос и электронный язык).

Экспериментальная часть

Объекты исследования. В качестве объекта исследования в настоящей работе был использован дипептид L-аланил-L-валин (Bachem, №G-1420.0001). Дополнительная очистка образца дипептида не проводилась. Отсутствие примесей в дипептиде контролировалось с помощью метода совмещенного ТГ/ДСК/МС анализа и ¹Н ЯМР спектроскопии (Приложение).

В качестве сорбатов были использованы этанол, ацетонитрил, нитрометан и дистиллированная вода. Перед экспериментом все органические вещества были очищены по стандартной методике [14]. Чистота сорбатов контролировалась методом газовой хроматографии. Содержание основного компонента в органических растворителях было >99%.

Методика определения сенсорных откликов. Для исследования рецепторных свойств дипептида в тонких пленках по отношению к парообразным органическим соединениям и воде было использовано сенсорное устройство типа кварцевых микровесов на основе пьезоэлектрических резонаторов оригинальной конструкции (QCM-анализ). В качестве рабочих сенсоров были использованы 10 МГц кварцевые резонаторы (ICM Co. Inc., № 131215-10). Детально конструкция прибора описана в работе [15]. Устройство термостатировалось при 298 К.

Три резонатора были покрыты слоем рецептора путем нанесения на центр золотого электрода раствора (1 мкл) дипептида в метаноле с концентрацией 0.8 мг/мл и последующей осушкой потоком теплого воздуха (45-50°C) до постоянной массы. Четвертый резонатор использовался в качестве опорного. Образовавшийся слой дипептида вызывал уменьшение частоты резонатора в среднем на 800 Гц.

В сенсорном эксперименте жидкий сорбат дозировался микрошприцем в сенсорную ячейку в двукратном избытке по сравнению с количеством необходимым для создания насыщенного пара в объеме ячейки. Относительное давление паров сорбата в условиях динамического равновесия составляло $P/P_0 = 0.80 \pm 0.05$. Эта величина была определена с помощью газохроматографического анализа, как описано в работе [15]. Полное насыщение пленки дипептида сорбатом в условиях эксперимента контролировалось следующим образом: после того как частота сенсора достигала постоянного максимального значения в сенсорную ячейку додозировалось дополнительное количество сорбата, – при этом было показано, что величина сенсорного отклика не изменяется. Ошибка определения отклика пьезоэлектрического сенсора не превышала 10%. Шум базовой линии сенсора не превышал 2 Гц.

После эксперимента связавшийся сорбат удалялся продувкой теплым воздухом (45-50°C). Критерием полноты регенерации сенсорного покрытия служило возвращение частоты колебаний кварцевого резонатора к исходному значению. Как правило, время продувки составляло 2 минуты.

Изучение морфологии тонких пленок дипептида с помощью атомно-силовой микроскопии (АСМ). Морфология поверхности тонких пленок дипептида была изучена с помощью сканирующего зондового микроскопа «Solver P47» (НТ-МДТ, Россия) в полуконтактном режиме. Были использованы стандартные кремниевые кантилеверы с коэффициентом жесткости 2.5-10 Н/м и резонансной частотой 115-190 кГц (НТ-МДТ, Россия).

Пленки дипептида диаметром 3 мм для АСМ эксперимента были приготовлены на поверхности высокоориентированного пиролитического графита (ВОПГ) по той же методике, что и для кварцевых резонаторов. Объем наносимого раствора составлял 0.4 мкл, что исключало наложение пленок и позволяло получить более четкое изображение поверхности.

Средняя квадратичная шероховатость поверхности (R_q) определялась по полученным АСМ изображениям по методике, описанной в работе [16].

Методика проведения ТГ/ДСК/МС анализа. Состав и термическая стабильность продуктов насыщения дипептида парами органических соединений были исследованы методом совмещенной термогравиметрии и дифференциальной сканирующей калориметрии (ТГ/ДСК) с помощью термоанализатора STA 449 C Jupiter, сопряженного с квадрупольным масс-спектрометром QMS 403 C Aëolos (Netzsch, Германия) по методике описанной в работе [17].

Образцы дипептида, насыщенные органическими соединениями, были приготовлены выдерживанием порошка рецептора (массой 15 мг) в контакте с насыщенным паром органического сорбата ($P/P_0 = 1$) в течение 72 часов при 298 К в герметично закрытой ампуле объемом 15 мл. ТГ/ДСК/МС анализ начинался после 20-ти минутного уравнивания термовесов с образцом при 298 К в токе аргона (75 мл/мин). Точность определения состава соединений включения составляла 2-5% в зависимости от их стабильности.

Результаты и их обсуждение

1. Результаты QCM анализа рецепторных свойств тонких пленок дипептида.

Для определения состава насыщенных комплексов дипептида с органическими соединениями и водой был использован метод микровзвешивания с помощью кварцевых микровесов (QCM-анализ). Сенсорные отклики были получены для дипептида L-аланил L-валин по отношению к парам этанола, ацетонитрила, нитрометана и дистиллированной воды с относительным давлением паров $P/P_0 = 0.8$ при температуре 298 К.

Типичный вид сенсорных откликов на введение в измерительную ячейку сорбата представлен на рис. 1.

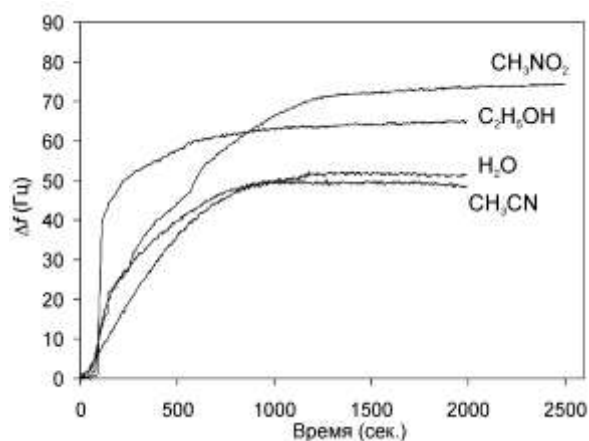


Рис. 1. Сенсорные отклики дипептида L-аланил-L-валин на пары органических соединений и воды с термодинамической активностью $P/P_0 = 0.8$ при 298 К. Сенсорные отклики Δf приведены к массе покрытия, соответствующей изменению частоты кварцевого резонатора $\Delta f = 800$ Гц.

Ранее было показано [13], что время выхода сенсорного отклика на максимальное значение при связывании паров метанола составляет ~12 мин., а паров толуола – 50 мин. Насыщение пленки дипептида парами этанола, ацетонитрила, нитрометана и дистиллированной воды происходит за 13, 13, 20 и 14 мин, соответственно. При этом за первые 7-18 минут дипептидом связывалось ~90% органического сорбата от максимального количества, за исключением толуола, для которого это время достигало 40 мин.

Для изученных органических соединений была проанализирована обратимость связывания их тонким слоем дипептида. Критерием полной обратимости сенсоров служил возврат частоты кварцевого резонатора на значение, соответствующее первоначальному. Было установлено, что все изученные органические соединения обратимо связываются дипептидом L-аланил-L-валин и полностью удаляются из тонкого слоя дипептида продувкой теплым воздухом (45°C). При этом после удаления метанола и нитрометана рецепторные свойства пленки полностью восстанавливались. После удаления связанного ацетонитрила сорбционная емкость пленки уменьшалась на 24%. После удаления связанной воды и этанола сорбционная емкость пленки уменьшалась на 35-50%, а шум базовой линии сенсорного устройства многократно возрастал. Удаление связанного толуола приводило к уменьшению сорбционной емкости пленки дипептида в 10 раз [13].

Данные сенсорных экспериментов, включающие величину сенсорного отклика Δf , соответствующую постоянному максимальному значению изменения частоты сенсоров, представлены в табл. 1.

Табл. 1. Данные сенсорного эксперимента для дипептида L-аланил-L-валин при 298 К*

Сорбат	MR_D , см ³ /моль	Δf , Гц	S (моль сорбата / моль дипептида)
H ₂ O	3.7	52	0.67
MeOH	8.3	92	0.67**
MeCN	11.1	49	0.29
MeNO ₂	12.5	75	0.29
EtOH	13.0	65	0.30
C ₆ H ₅ CH ₃	31.1	35	0.08**

* сенсорные отклики приведены к одинаковой массе сенсорного покрытия, соответствующей изменению частоты кварцевого резонатора $\Delta f=800$ Гц.

** данные из работы [13].

В качестве параметра, характеризующего размер молекул сорбатов, в табл. 1 приведены значения молекулярной рефракции (MR_D), которая, как показано в работе [18], достаточно корректно описывает размер и форму молекулы:

$$MR_D = (M/d) (n_D^2 - 1) / (n_D^2 + 2),$$

где M – молекулярная масса сорбата, d – его плотность, n_D – показатель преломления жидкого сорбата.

Рассчитанные значения составов комплексов S дипептида L-аланил-L-валин с изученными органическими соединениями и водой свидетельствуют о существенном влиянии размера молекулы сорбата на величину сорбционной емкости дипептида. Для детального анализа соотношения типа «структура-свойство» были построена зависимость сорбционной емкости дипептида S от молекулярной рефракции изученных «гостей» MR_D , рис. 2.

Видно, что наибольшую селективность дипептид проявляет по отношению к относительно малым молекулам: вода и метанол. При переходе к более крупным соединениям: ацетонитрил, нитрометан и этанол, размер которых увеличивается по сравнению с размером молекулы метанола на 35-58%, емкость дипептида уменьшается на 55-57%, табл. 1. Сорбционная емкость дипептида по отношению к толуолу, размер молекулы которого в 3.7 раза больше размера молекулы метанола, уменьшается более чем в 8 раз, табл. 1.

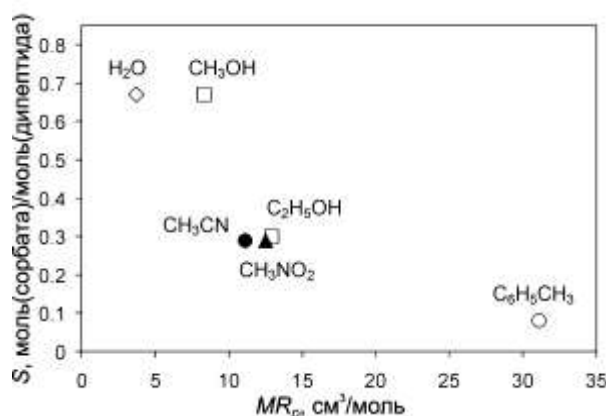


Рис. 2. Зависимость сорбционной емкости дипептида L-аланил-L-валин S от молекулярной рефракции «гостей» MR_D .

Следует отметить, что сорбционная емкость дипептида в некоторых случаях зависит от способности молекулы сорбата к образованию водородных связей. Так, размер молекулы ацетонитрила в 1.3 раза больше размера молекулы метанола, но емкость биоцелита по отношению к спирту, способного к эффективному образованию водородных связей, в 2.3 раза больше емкости к ацетонитрилу, табл. 1. С другой стороны,

сорбционная емкость дипептида по отношению к парам ацетонитрила, нитрометана и этанола, имеющих близкие значения молекулярной рефракции оказывается практически равной, несмотря на различие в способности молекул этих веществ к образованию водородных связей, т.е. в данном случае определяющим является размер молекулы.

2. Результаты ТГ/ДСК/МС анализа.

Состав насыщенных соединений включения дипептида L-аланил-L-валин с органическими соединениями $S_{ТГ}$, полученных насыщением порошка дипептида веществом «гостя» с единичной активностью ($P/P_0 = 1$), а также термическая стабильность соединений включения при нагревании были определены с помощью совмещенного ТГ/ДСК анализа с масс-спектрометрическим определением летучих продуктов разложения в динамической атмосфере аргона. Примеры полученных результатов ТГ/ДСК/МС анализа представлены на рис. 3.

Форма ДСК кривых свидетельствует об отсутствии каких-либо фазовых переходов в веществе дипептида выше температуры ухода связанного сорбата, рис. 3. Зависимости отклика масс-спектрометрического детектора от температуры для изученных соединений включения, рис. 3, показывают наличие в уходящих газах только связанных «гостей» и только в интервале температур, где наблюдается потеря массы образца.

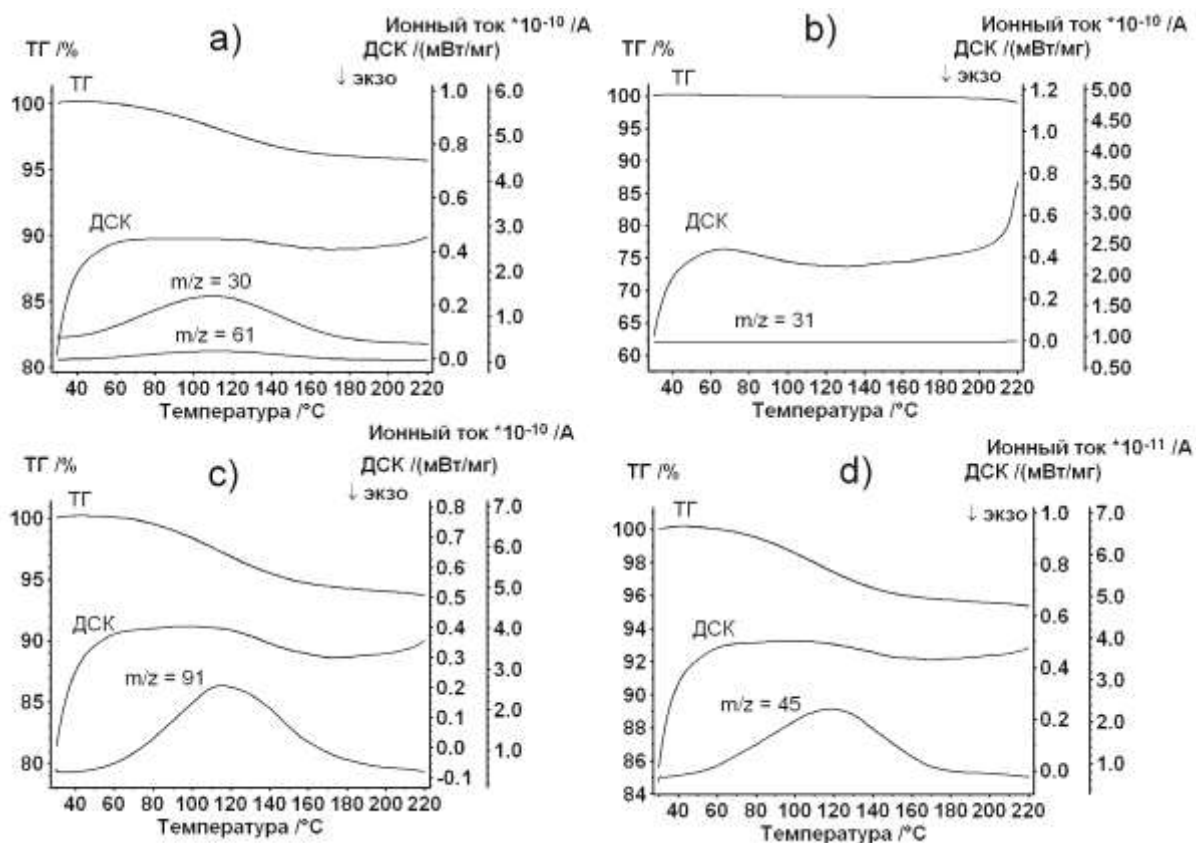


Рис. 3. Результаты совмещенного ТГ/ДСК/МС анализа образца дипептида L-аланил-L-валин, насыщенного парами: а) нитрометана ($m/z=30$, $m/z=61$); б) метанола ($m/z=31$); в) толуола ($m/z=91$); д) этанола ($m/z=45$); ($P/P_0 = 1$, $T = 298$ К) в течение 72 часов и выдержанных в токе аргона в течение 20 мин при 298 К. Скорость нагрева 10 К/мин.

В табл. 2 приведены результаты совмещенного ТГ/ДСК анализа разложения соединений включения дипептида L-аланил-L-валин с органическими соединениями и водой: потеря массы образца от исходной Δm (%) и состав комплексов по данным термогравиметрии $S_{ТГ}$.

Табл. 2 Данные совмещенного ТГ/ДСК анализа разложения соединений включения дипептида L-аланил-L-валин, полученные в условиях динамической атмосферы аргона (20 мл/мин) и скорости нагрева 10 К/мин.

Сорбат	Δm (%)	S_{TG} (моль сорбата / моль дипептида)
H ₂ O	2.03	0.22
CH ₃ OH	0.47	0.03
CH ₃ CN	1.43	0.07
CH ₃ NO ₂	4.33	0.14
C ₂ H ₅ OH	4.46	0.19
C ₆ H ₅ CH ₃	3.52	0.07

Для всех изученных соединений включения метод ТГ/ДСК/МС анализа дает меньшие значения сорбционной емкости дипептида по сравнению с данными QCM-анализа, табл. 1 и 2. Наиболее значительные отличия наблюдаются в случае метанола. Согласно данным ТГ анализа образец дипептида, насыщенный метанолом, при нагреве до температуры 200°C теряет 0.47% своей массы, рис. 3b. Эта потеря составляет 4.5% от емкости дипептида, определенной с помощью сенсорного эксперимента, табл. 2. По данным термогравиметрии емкость дипептида к воде, ацетонитрилу, нитрометану, этанолу и толуолу составляет 33%, 24%, 45%, 63% и 88%, соответственно, от емкости, определенной методом QCM-анализа, табл. 1 и 2. Причиной такого различия является разложение соединений включения уже при комнатной температуре в процессе уравнивания термовесов. Следовательно, в сенсорном эксперименте тонкие пленки дипептида могут быть регенерированы продувкой теплым (45°C) воздухом. Обнаруженная низкая термическая стабильность клатратов изученного дипептида с метанолом свидетельствует о предпочтительном использовании этого растворителя для приготовления сенсорных покрытий на основе L-аланил-L-валина, а также для регенерации сенсоров после связывания трудно удаляемых соединений, например толуола, с использованием методики замещения в твердой фазе [15].

3. Морфология поверхности тонких пленок дипептида по данным атомно-силовой микроскопии.

Для более детального исследования взаимодействия тонкого слоя дипептида с парами органических соединений с помощью метода АСМ была охарактеризована морфология поверхности тонкой пленки дипептида L-аланил-L-валин до и после связывания изученных «гостей» в условиях сопоставимых с сенсорным экспериментом. Полученные трехмерные АСМ изображения поверхности пленки дипептида нанесенной на высокоориентированный пиролитический графит (ВОПГ) до и после связывания нитрометана приведены на рис. 4.

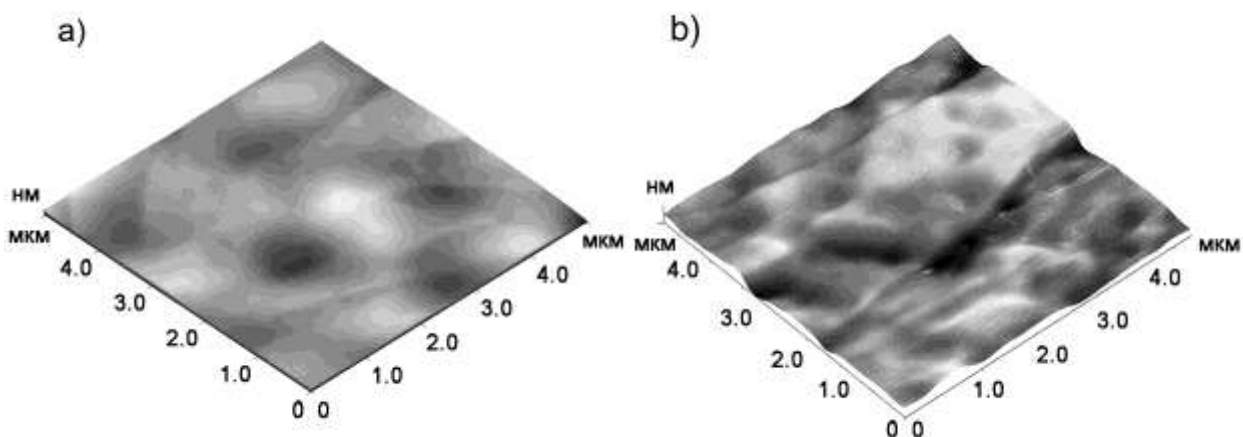


Рис. 4. 3D АСМ изображения тонкого слоя дипептида L-аланил-L-валин, нанесенного на ВОПГ из раствора в метаноле, (а) до и (б) после насыщения парами нитрометана в течение 50 минут и последующей осушкой в течение 2 минут в токе теплого воздуха (45°C).

Средняя квадратичная шероховатость поверхности R_q исходной пленки составила 1.6 ± 0.2 нм. В случае насыщения тонкой пленки дипептида парами нитрометана и последующей осушкой пленки в токе теплого воздуха существенных изменений морфологии пленок не наблюдалось, рис. 3б. Средняя квадратичная шероховатость поверхности R_q пленки дипептида после взаимодействия с нитрометаном составила 1.8 ± 0.2 нм. Отсутствие изменений морфологии пленки возможно связано с тем, что молекулы нитрометана имеют относительно небольшие размеры и не способны к специфическому взаимодействию с дипептидом. Ранее нами было обнаружено, что сорбция органических соединений, способных к специфическому взаимодействию (метанол) с дипептидом или имеющих молекулы больших размеров (толуол), приводит к существенным изменениям морфологии тонкой пленки [13]. В результате насыщения тонкой пленки дипептида парообразным метанолом в местах кристаллографических ступеней на пирографите имело место образование небольших нановыступов с латеральными размерами 20-60 нм и высотой 2-5 нм. Связывание паров толуола приводит к образованию на поверхности пленки дипептида хорошо выраженных nanoостровков с латеральными размерами 80-180 нм и высотой 2-15 нм [13].

Анализ результатов QCM-анализа и АСМ дает основание предположить, что связывание этанола и ацетонитрила, сорбционная емкость дипептида к которым сопоставима с емкостью по отношению к нитрометану, также не вызовет существенных изменений в морфологии поверхности пленки дипептида L-аланил-L-валин.

Выводы: Установлено, что сорбционная емкость дипептида L-аланил-L-валин в целом уменьшается с ростом размеров молекул «гостя». Показано, что процесс связывания метанола дипептидом L-аланил-L-валин обратим при 298К, в то время как сорбция воды, этанола, ацетонитрила, нитрометана и толуола приводит к образованию относительно стабильных в этих условиях соединений включения. Обнаружено, что рецепторная способность изученного дипептида частично инактивируется после удаления связанных молекул воды, этанола, ацетонитрила и толуола. Показано, что при связывании паров нитрометана тонким слоем дипептида морфология поверхности пленки практически не изменяется, а рецепторная способность дипептида после удаления этого сорбата полностью восстанавливается.

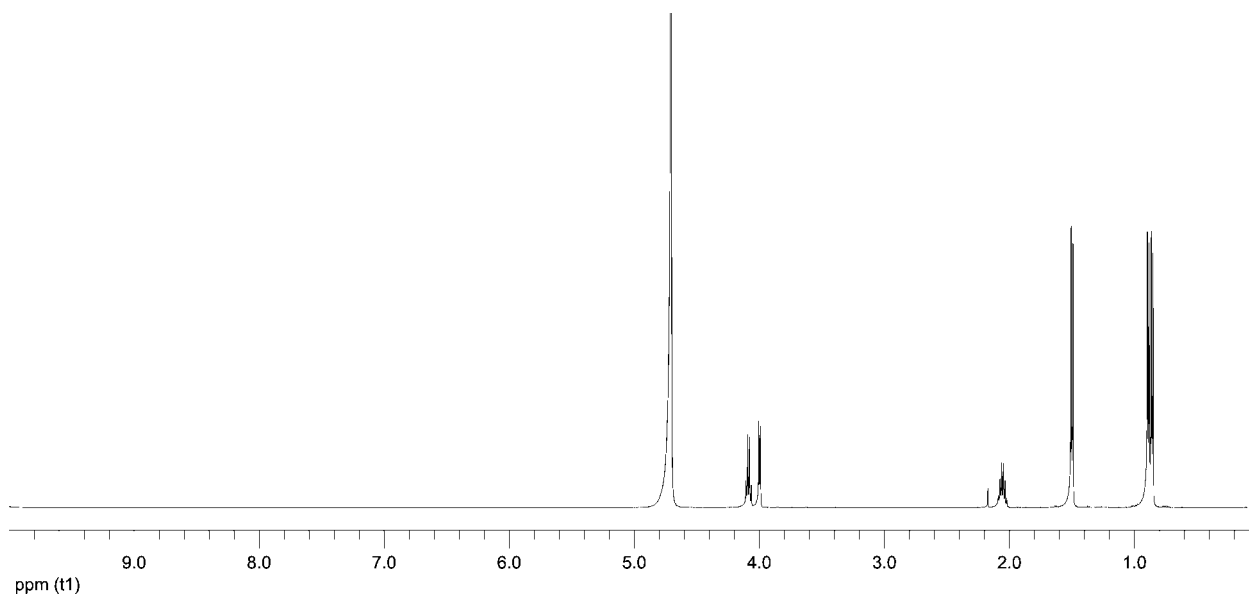
Благодарность

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ № 09-03-97011-р_поволжье и ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы (Госконтракт №П2345).

Литература

- [1] Rajagopal K., Schneider J.P. Self-assembling peptides and proteins for nanotechnological applications. *Current Opinion in Structural Biology*. **2004**. Vol.14. P.480-486.
- [2] Zhang S., Marini D.M., Hwang W., Santoso S. Design of nanostructured biological materials through self-assembly of peptides and proteins. *Current Opinion in Chemical Biology*. **2002**. Vol.6. N6. P.865-871.
- [3] Dalgarno S.J., Thallapally P.K., Barbour L.J., Atwood J.L. Engineering void space in organic van der Waals crystals: calixarenes lead the way. *Chem. Soc. Rev.* **2007**. Vol.36. P.236-245.
- [4] Soldatov D.V., Moudrakovski I.L., Ripmeester J.A. Dipeptides as microporous materials. *Angew. Chem. Int. Ed.* **2004**. Vol.43. P.6308-6311.
- [5] Granja J.R., Ghadiri M.R. Channel-mediated transport of glucose across lipid bilayers. *J. Am. Chem. Soc.* **1994**. Vol.116. P.10785-10786.
- [6] Ghadiri M.R., Granja J.R., Buehler L.K. Artificial transmembrane ion channels from self-assembling peptide nanotubes. *Nature*. **1994**. Vol.369. P.301-304.
- [7] Sa'nchez-Quesada J., Isler M.P., Ghadiri M.R. Modulating ion channel properties of transmembrane peptide nanotubes through heteromeric supramolecular assemblies. *J. Am. Chem. Soc.* **2002**. Vol.124. N34. P.10004-10005.
- [8] Percec V., Dulcey A. E., Balagurusamy V. S. K., Miura Y., Smidrkal J., Peterca M., Nummelin S., Edlund U., Hudson S. D., Helney P. A., Duan H., Magonov S. N., Vinogradov S. A. Self-assembly of amphiphilic dendritic dipeptides into helical pores. *Nature*. **2004**. Vol.430. P.764-768.
- [9] Riehemann K., Schneider S.W., Luger T.A., Godin B., Ferrari M., Fuchs H. Nanomedicine - challenge and perspectives. *Angew. Chem. Int. Ed.* **2009**. Vol.48. P.872-897.
- [10] Hartgerink J.D., Clark T.D., Ghadiri M. R. Peptide nanotubes and beyond. *Chem. A. Eur. J.* **1998**. Vol.4. P.1367-1372.
- [11] Görbitz C.H. Microporous organic materials from hydrophobic dipeptides. *Chem. A. Eur. J.* **2007**. Vol.13. N4. P.1022-1031.
- [12] Soldatov D.V., Moudrakovski I.L., Grachev E.V., Ripmeester J.A.. Micropores in crystalline dipeptides as seen from the crystal structure, He pycnometry, and ¹²⁹Xe NMR spectroscopy *J. Am. Chem. Soc.* **2006**. Vol.128. N20. P.6737-6744.
- [13] Ефимова И.Г., Зиганшин М.А., Горбачук В.В., Солдатов Д.В., Зиганшина С.А., Чукланов А.П., Бухараев А.А. Образование nanoостровков на поверхности тонких пленок дипептидов под действием паров органических соединений. *Физикохимия поверхности и защита материалов*. **2009**. т. 45. N5. С.474-477.
- [14] Armarego W.L.F., Chai C.L.L. Purification of laboratory chemicals, 6th ed. *Oxford: Butterworth-Heinemann*. **2009**. P.760.
- [15] Yakimova L.S., Ziganshin M.A., Sidorov V.A., Kovalev V.V., Shokova E.A., Tafeenko V.A., Gorbachuk V.V. Molecular recognition of organic vapors by adamantylcalix[4]arene in QCM sensor using partial binding reversibility. *J. Phys. Chem. B.* **2008**. Vol.112. N.49. P.15569-15575.
- [16] Арутюнов П.А., Толстихина А.Л. Микроэлектроника. **1999**. Т.28. N6. С.405-414.
- [17] Сафина Г.Д., Зиганшин М.А., Стойков И.И., Антипин И.С., Горбачук В.В. Влияние конфигурации тетракарбокиспроизводного трет-бутилтиакаликс[4]арена на его рецепторные свойства по отношению к паробразным органическим соединениям. *Изв. Акад. Наук. Сер. Хим.* **2009**. N1. С.71-79.
- [18] Gorbachuk V.V., Tsifarkin A.G., Antipin I.S., Solomonov B.N. and Konovalov A.I. Influence of the guest molecular size on the thermodynamic parameters of host-guest complexes between solid tert-butylcalix[4]arene and vapours of organic compounds. *Mendeleev Communications*. **1999**. Issue.1. P.11-13.

Приложение.



Спектр ЯМР H^1 раствора дипептида L-аланил-L-валин в D_2O (Bruker, Avance II, 500 МГц, 20°C).

Receptor properties of nanoporous material based on dipeptide L-alanyl-L-valine toward vapor of organic compounds and water

© Efimova Irina Georgievna^{1,+}, Ziganshin Marat Ahmedovich¹, Gorbatchuk Valery Vilenovich^{1,*}, Ziganshina Sufia Askhatovna² and Bukharaev Anastas Akhmetovich²

¹ Physical chemistry division. A.M. Butlerov Institute of Chemistry. KFU, Kremlevskaya 18, Kazan, 420008, Tatarstan Republic, Russia.

Tel: +7(843)233-73-09, Fax: +7(843)233-74-16. E-mail: Iefimova@ksu.ru

² Zavoisky Physical–Technical Institute, Sibirsky tract, 10/7, Kazan, 420029, Tatarstan Republic, Russia.

Keywords: dipeptide, biozeolite, inclusion compound, morphology of nanofilm surface, quartz crystal microbalance, gravimetric sensor, thermogravimetry, differential scanning calorimetry, atomic force microscopy.

Annotation

The receptor properties of the dipeptide L-alanyl-L-valine toward the vapours of organic compounds and water were studied using quartz crystal microbalance. The reversibility of sorbate binding was studied by simultaneous thermogravimetry (TG) and differential scanning calorimetry (DSC) with mass-spectrometric analysis of gaseous products of decomposition. The surface morphology of thin films of dipeptide before and after interaction with the sorbate was studied by atomic force microscopy.

Фамилия, имя, отчество.
Ефимова Ирина Георгиевна
Efimova Irina Georgievna

Фотография



Краткая или детальная биография научного становления.

Ирина Ефимова является инженером кафедры физической химии Химического института им. А.М. Бутлерова Казанского (Приволжского) Федерального университета. Ее научный интерес лежит в области изучения самоорганизации олигопептидов и их рецепторных свойств.

Irina G. Efimova is currently an engineer in A. M. Butlerov Institute of Chemistry Kazan (Volga region) Federal University (Russia). His research is focused on the receptor properties of solid oligopeptides.

Место работы.

Химический институт им. А.М. Бутлерова. КФУ
A.M. Butlerov Institute of Chemistry. KFU

Должность.

Инженер
Engineer

Рабочий телефон, факс, персональный E-mail.

Tel.: +7(843)2337309, Fax: +7(843)2337416, iefimova@ksu.ru

Фамилия, имя, отчество.

Зиганшин Марат Ахмедович

Ziganshin Marat Ahmedovich

Фотография



Краткая или детальная биография научного становления.

Зиганшин Марат защитил кандидатскую диссертацию по физической химии в 2001 и в настоящее время является доцентом кафедры физической химии Химического института им. А.М. Бутлерова Казанского (Приволжского) Федерального университета. Научный интерес находится в области исследования межмолекулярных взаимодействий супрамолекулярных рецепторов с парообразными органическими соединениями.

Marat A. Ziganshin received his Candidate of Science (PhD) degree in physical chemistry in 2001 and is currently associate professor of Physical Chemistry in A. M. Butlerov Institute of Chemistry Kazan (Volga region) Federal University. His research interest is the study of interactions of solid supramolecular receptors with organic vapors.

Место работы.

Химический институт им. А.М. Бутлерова. КФУ

A.M. Butlerov Institute of Chemistry. KFU

Должность.

Доцент кафедры физической химии Химического института им. А.М. Бутлерова

Associate professor of Physical Chemistry in A.M. Butlerov Institute of Chemistry

Рабочий телефон, факс, персональный E-mail.

Tel.: +7(843)2337309, Fax: +7(843)2337416, Marat.Ziganshin@ksu.ru

WEB адрес персональной "home page"

<http://www.ksu.ru/persons/7408.ru.html>

Фамилия, имя, отчество.
Горбачук Валерий Виленович
Gorbatchuk Valery Vilenovich

Фотография



Краткая или детальная биография научного становления.

Горбачук Валерий в настоящее время является профессором кафедры физической химии Химического института им. А.М. Бутлерова Казанского (Приволжского) Федерального университета. Научный интерес находится в области исследования физической химии твердых супрамолекулярных систем и биополимеров, включая феномен молекулярного распознавания.

Valery V. Gorbatchuk is professor of Physical Chemistry at the A. M. Butlerov Institute of Chemistry of the Kazan State University. He studies the physical chemistry of solid supramolecular systems and biopolymers including molecular recognition phenomena.

Место работы.

Химический институт им. А.М. Бутлерова. КФУ
A.M. Butlerov Institute of Chemistry. KFU

Должность.

Профессор кафедры физической химии Химического института им. А.М. Бутлерова
Professor of Physical Chemistry in A.M. Butlerov Institute of Chemistry

Рабочий телефон, факс, персональный E-mail.

Tel.: +7(843)2337309, Fax: +7(843)2337416, Valery.Gorbatchuk@ksu.ru

WEB адрес персональной "home page"

<http://www.ksu.ru/persons/0358.ru.html>

Фамилия, имя, отчество.

Бухараев Анастас Ахметович
Bukharaev Anastas Akhmetovich

Фотография



Место работы:

Бухараев Анастас в настоящее время является заведующим лабораторией физики и химии поверхности Казанского физико-технического института им. Е.К. Завойского Российской академии наук, доктор физико-математических наук, член-корреспондент Академии наук Республики Татарстан, член редакционной коллегии информационно-научного периодического издания "[Химия и компьютерное моделирование. Бутлеровские сообщения.](#)" Область научных интересов: физика и химия поверхности, сканирующая зондовая микроскопия.

Anastas A. Bukharaev is the head of the laboratory "Physics and Chemistry of Surface" of E.K. Zavoisky Physical-Technical Institute Kazan Scientific Centre of Russian Academy of Science, Dr. Sc. in Physics and Mathematics, Corresponding Member of Tatarstan Academy of Science, member of editorial board of information-scientific journal "[Chemistry and Computational Simulation. Butlerov Communications.](#)". Field of scientific interests: physics and chemistry of surface, atomic force microscopy.

Место работы.

Казанский физико-технический институт им. Е.К.Завойского Российской академии наук
E.K. Zavoisky Physical-Technical Institute Kazan Scientific Centre of Russian Academy of Science.

Должность.

Заведующий лабораторией физики и химии поверхности
Head of laboratory of physics and chemistry of surface

Рабочий телефон, факс, персональный E-mail.

Tel.: +7 (843) 2319107, Fax: +7 (843) 2765075, a_bukharaev@kfti.knc.ru

WEB адрес персональной "home page"

<http://www.kfti.knc.ru/labs/fizhimpoverh.html>

Фамилия, имя, отчество.

Зиганшина Суфия Асхатовна
Ziganshina Sufia Askhatovna

Фотография



Краткая или детальная биография научного становления.

Зиганшина Суфия в настоящее время является старшим научным сотрудником лаборатории физики и химии поверхности Казанского физико-технического института им. Е.К.Завойского Российской академии наук, кандидат химических наук. Область научных интересов: физика и химия поверхности, сканирующая зондовая микроскопия.

Ziganshina A. Sufia is the senior research scientist of the laboratory "Physics and Chemistry of Surface" of E.K. Zavoisky Physical-Technical Institute Kazan Scientific Centre of Russian Academy of Science, Ph.D. in Analytical Chemistry. Field of scientific interests: physics and chemistry of surface, atomic force microscopy.

Место работы.

Казанский физико-технический институт им. Е.К.Завойского Российской академии наук
E.K. Zavoisky Physical-Technical Institute Kazan Scientific Centre of Russian Academy of Science.

Должность.

Старший научный сотрудник лаборатории физики и химии поверхности
Senior research scientist of laboratory of physics and chemistry of surface

Рабочий телефон, факс, персональный E-mail.

Tel.: +7 (843) 2319107, Fax: +7 (843) 2765075, sufia@kfti.knc.ru