Контрольная работа

по биологии

2009

Содержание

1. Адсорбция ПАВ на гидрофобных поверхностях

1.1 Ионные ПАВ

1.2 Неионные ПАВ

2. Адсорбция ПАВ на гидрофильных поверхностях

2.1 Ионные ПАВ

2.2 Неионные ПАВ

3. Конкурентная адсорбция: распространенность явления

3.1 Смеси анионных и катионных ПАВ

3.2 Смеси анионных и неионных ПАВ

3.3 Смесь двух неионных ПАВ

3.4 Смеси анионного ПАВ и полимера

## 1. Адсорбция ПАВ на гидрофобных поверхностях

## 1.1 Ионные ПАВ

На рис.1 показаны кривые адсорбции гомологов жирных кислот на угле из водных растворов. Адсорбция увеличивается по мере роста КПУ ПАВ.

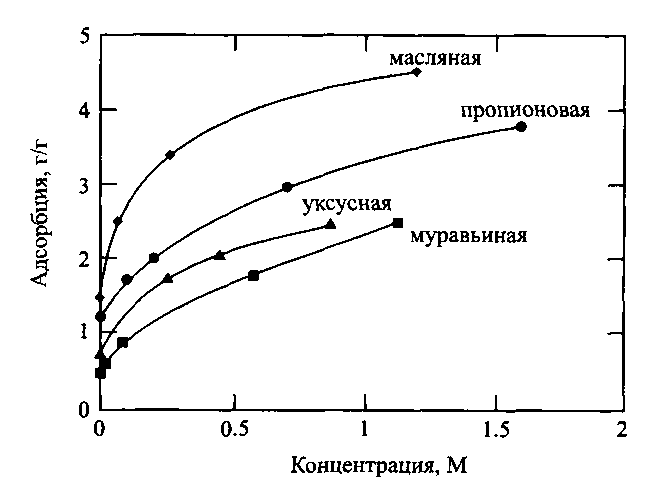


Рис.1. Адсорбция жирных кислот на угле из водных растворов

На рис.2, приводит к повышению адсорбции. Введение соли уменьшает электростатическое отталкивание между молекулами ПАВ на поверхности, обеспечивая более плотную упаковку молекул и уменьшает эффективную площадь поперечного сечения полярной группы. Было установлено, что площадь поперечного сечения А, приходящаяся на молекулу ПАВ, зависит от концентрации соли.

Как отмечалось выше, адсорбция ПАВ сравнительно мало чувствительна к полярности поверхности. На рис.3 показана зависимость площади поперечного сечения молекулы ПАВ при максимальной адсорбции от полярности латексных частиц. Из рисунка видно, что при переходе от самого неполярного поливинилхлорида к самому полярному поливинилацетату площадь поперечного сечения ПАВ, а следовательно и величина адсорбции, изменяется только в ~2 раза.

## 1.2 Неионные ПАВ

В случае неионных ПАВ адсорбция, кроме того, зависит от свойств растворов, т.е. от КПУ. На рис.4, а приведены изотермы адсорбции на двух латексах для трех неионных ПАВ - нонилфенолов с 10,20 и 50 оксиэтиленовыми группами.

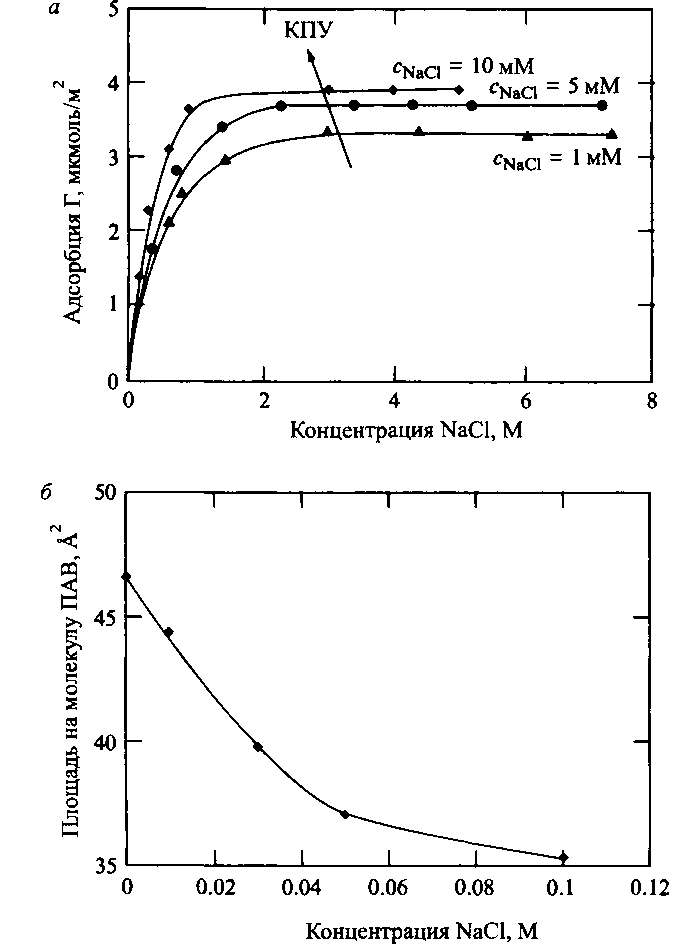
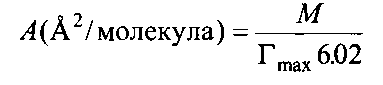


Рис.2. Адсорбция ДСН при трех различных концентрациях хлорида натрия: а - адсорбция увеличивается с увеличением КПУ, б - площадь поперечного сечения, приходящегося на полярную группу уменьшается с увеличением КПУ

Прежде всего можно отметить значительную разницу в адсорбции трех НПАВ, причем в наибольшей степени адсорбируется ПАВ с самой короткой полиоксиэтиленовой цепью. Далее отметим совсем небольшую разницу в адсорбции НПАВ на двух латексных поверхностях: на более полярной поверхности полиметилметакрилата адсорбция несколько меньше. Повышенная адсорбция НПАВ с более короткими полиоксиэтиленовыми цепями согласуется с представлениями о том, что КПУ увеличивается, по мере того как полиоксиэтиленовые цепи становятся короче. При увеличении КПУ молекулы ПАВ плотнее упаковываются на поверхности. Адсорбция достигает плато при концентрации ПАВ в растворе, слегка превышающей ККМ. Небольшие стрелки на рис.4 показывают KKM НПАВ.

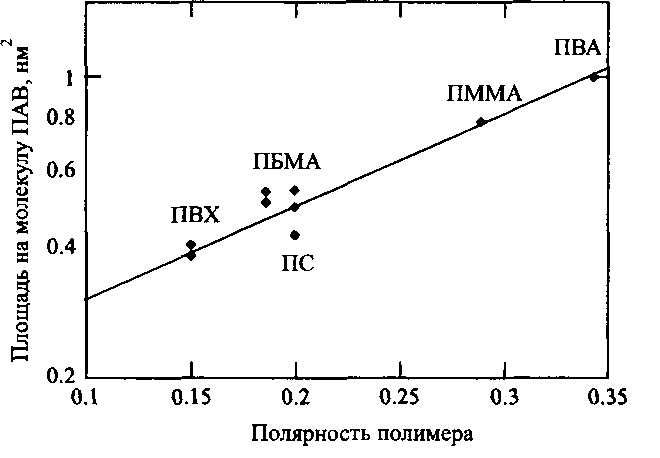


Рис.3. Зависимость площади на молекулу ПАВ при максимальной адсорбции от полярности полимерного латекса

В таблице 1 представлены результаты анализа изотерм адсорбции в рамках уравнения Ленгмюра для данных НПАВ, для сравнения приведены аналогичные данные для додецилсульфата натрия. Видно, что площадь поперечного сечения на молекулу ПАВ увеличивается при увеличении длины полиоксиэтиленовой цепи. Свободная энергия Гиббса адсорбции уменьшается с длиной полиэтиленовой цепи, хотя ее величина для НПАВ остается выше, чем в случае ДСН.

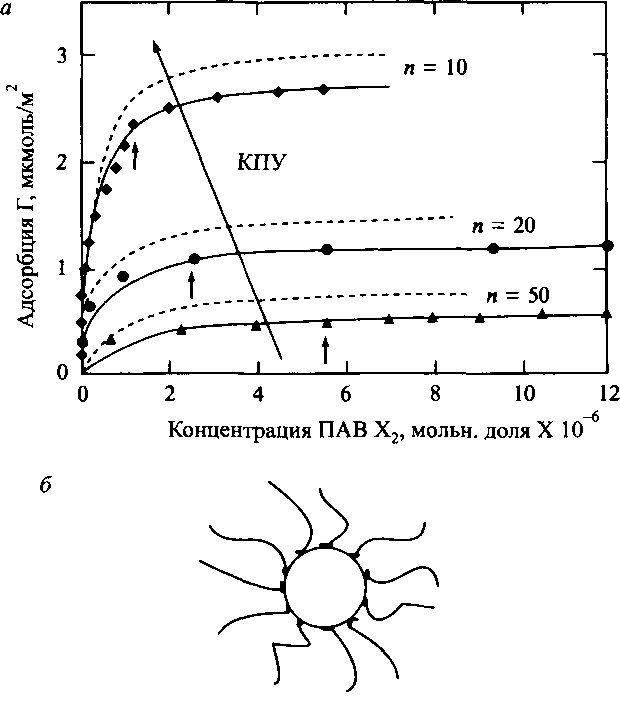


Рис.4. а - Изотермы адсорбции НС-Е„ на полистирольном латексе и на полиметилметакрилатном латексе; б-упрощенная модель адсорбции НПАВ на частицах латексов, в которой углеводородные цепи молекул НПАВ находятся в контакте с поверхностью, а полиоксиэтиленовые группы направлены в водную фазу. С разрешения Academic Press

Из таблицы 1 и рис.4 можно сделать следующие выводы. Свободная энергия Гиббса адсорбции неионных ПАВ типа NP-Ew зависит от длины полиоксиэтиленовой цепи. Таким образом, в смеси НПАВ должен проявляться хроматографический эффект: НПАВ с короткими полиоксиэтиленовыми цепями преимущественно адсорбируются на гидрофобных поверхностях. Поэтому при использовании партии техническою ПАВ молекулы с длинными оксиэтиленовыми цепями остаются в растворе, а гомологи с короткими цепями находятся на поверхностях, имеющихся в системе. На рис.5 показаны в качестве примера результаты расчета для системы, состоящей из смеси NP-Eio и NP-E20, причем составы партий обоих НПАВ подчиняются распределению Пуассона. Поверхность обогащается молекулами НПАВ с короткими полиоксиэтиленовыми цепями, в то время как раствор обогащен гомологами с длинными полиоксиэтиленовыми цепями.

Из таблицы 1 также видно, что НПАВ адсорбируются сильнее, чем анионный додецилсульфат натрия, вследствие отсутствия электростатического отталкивания между молекулами на поверхности. Значения KKM НПАВ обычно в 10-100 раз ниже KKM ионных ПАВ при одинаковой длине углеводородных радикалов.

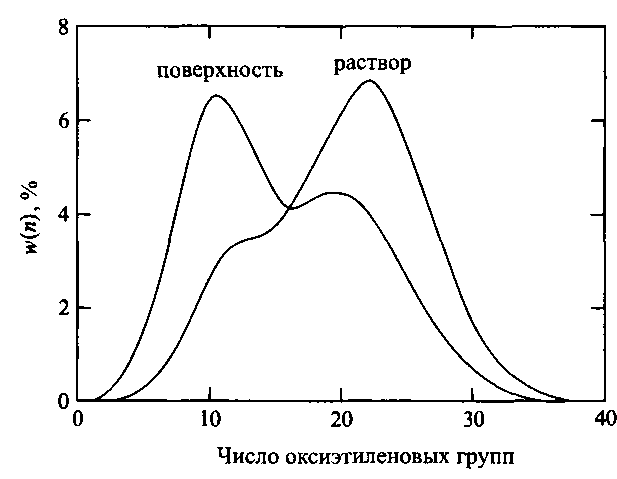


Рис.5. Рассчитанные нормализованные кривые распределения смеси НПАВ, адсорбированной на латексе и в находящемся в равновесии растворе

Из модели адсорбции, приведенной на рис.4 можно прийти к неверному выводу о том, что свободная энергия адсорбции не зависит от длины полиоксиэтиленовых цепей НПАВ, поскольку она определяется только контактами между углеводородными частями молекулы ПАВ и поверхностью. Но, как видно из табл.1, свободная энергия Гиббса адсорбции уменьшается при возрастании длины полиоксиэтиленовой цепи. Это объясняется увеличением размера молекул ПАВ с ростом длины полиоксиэтиленовой цепи. Однако этот факт не учитывается при анализе изотерм адсорбции в рамках уравнения Ленгмюра. Для разработки более реалистичной модели адсорбции ПАВ необходимо учитывать два дополнительных фактора: во-первых, разницу размеров молекул ПАВ, во-вторых, взаимодействие между ними. В таблице 2 представлены результаты такого анализа адсорбции НПАВ на частицах полистирольного латекса. Из приведенных данных можно заключить, что существуют две движущие силы адсорбции: взаимодействия углеводородных фрагментов ПАВ с поверхностью и взаимодействие этих фрагментов молекул ПАВ между собой. Строго говоря, ад сорбцию определяет изменение взаимодействий: первый вклад связан с заменой молекулярных контактов поверхность-вода на контакты поверхность-углеводородные цепи молекул ПАВ; второй вклад связан с заменой контактов молекулы воды-углеводородные фрагменты молекул ПАВ на контакты углеводородных фагментов друг с другом. Второй вклад в энергию адсорбции НПАВ гораздо больше первого; по своей природе эта энергия близка к энергии мицеллообразования. Значит, свободная энергия адсорбции Гиббса практически равна свободной энергии мицеллообразования.

Таблица 2. Два вклада в энергию адсорбции НПАВ на поверхности частиц полистирольного латекса

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| ПАВ | Взаимодействие ПАВ-поверхность | Взаимодействие ПАВ-ПАВ |
| NP-E10 | 1.6 | 5±2 |
| NP-E20 | 1.6 | 7±2 |
| NP-E50 | 1.6 | 6±2 |

Свойства водных растворов неионных ПАВ сильно зависят от температуры. Следовательно, можно предположить, что адсорбция НПАВ на поверхностях также должна сильно зависеть от температуры. На Рис.6, а показана температурная зависимость адсорбции НС-Е20 на полиметилметакрилат-ном латексе, из которой видно, что адсорбция сильно увеличивается с повышением температуры. Эти результаты согласуются с представлениями о том, что полиоксиэтиленовые цепи при повышении температуры скручиваются и уменьшаются в размере, что приводит к увеличению параметра КПУ. Из Рис.6, б видно, что площадь поперечного сечения, приходящаяся на молекулу НПАВ, монотонно снижается с температурой.

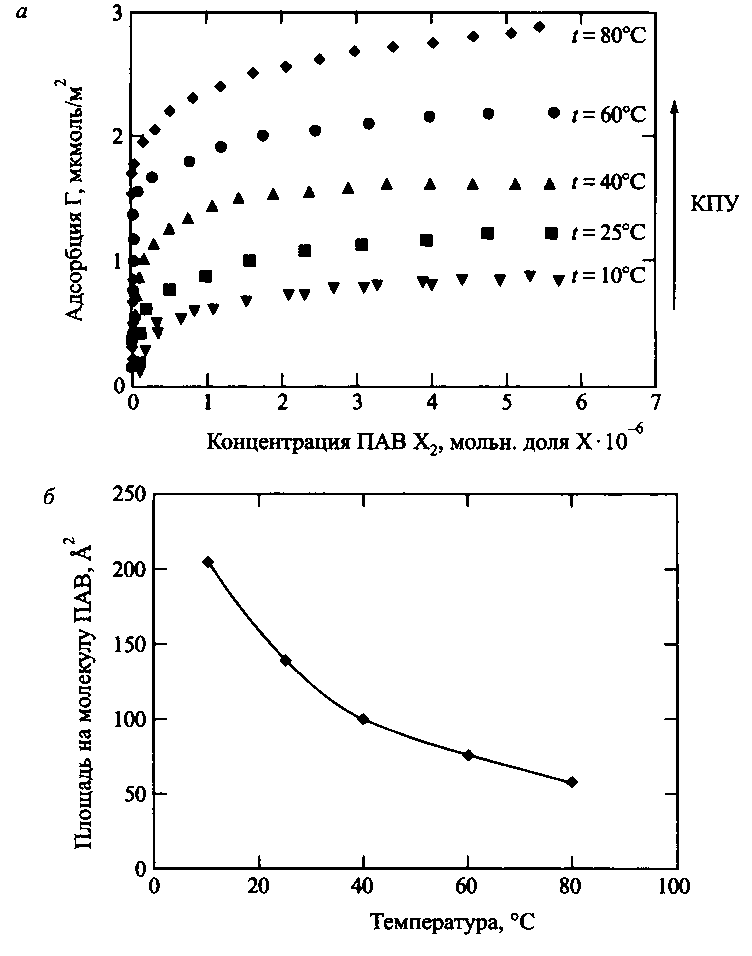


Рис.6. Температурные зависимости адсорбции НС-Е20 на полиметилметакрилатном латексе и площади поперечного сечения молекулы НПАВ в поверхностном слое

Более глубоко разобраться в механизме адсорбции НПАВ на поверхности латексных частиц можно на основании измерений устойчивости этих систем. Известно, что НПАВ обеспечивают стерическую стабилизацию водных дисперсных систем благодаря того, что полиоксиэтиленовые цепи адсорбированного НПАВ направлены в водный раствор. Устойчивость коллоидных дисперсий удобно изучать в циклах замораживания-размораживания образцов или при наложении на суспензии механических сдвиговых нагрузок. Кроме того, можно оценивать устойчивость суспензий при введении в них электролитов. Мерой неустойчивости дисперсии служит количество скоагулировавшего осадка при соответствующих воздействиях. Рисунок 10 иллюстрирует влияние на устойчивость латексов, стабилизированных добавками НС-Ею или додецилсульфата натрия, механического нагружения, циклов замораживания-размораживания и введения соли.

Из рисунков видно, что ДСН обеспечивает хорошую устойчивость к механическому воздействию, но его адсорбция на частицах латекса не приводит к стабилизации по отношению к действию электролита и циклам замораживание - оттаивание. В то же время адсорбция неионного ПАВ на поверхности частиц латекса обеспечивает высокую устойчивость латекса по отношению ко всем трем типам воздействия. Например, механическая устойчивость достигается при поверхностной концентрации выше - 0.6-0.8 мг/м2. Это значение соответствует монослою НПАВ, в котором молекулы лежат плоско на поверхности. При повышении поверхностной концентрации полиоксиэтиленовые цепи начинают выходить в водный раствор, что обеспечивает повышение устойчивости к коагуляции, вызываемой механическим перемешиванием. Устойчивость к циклам замораживание-размораживание достигается лишь при поверхностной концентрации выше ~2-2.5 мг/м2, что соответствует полностью заполненному монослою НПАВ, в котором молекулы ПАВ образуют "частокол", т.е. их углеводородные цепи контактируют с поверхностью, а полиоксиэтиленовые цепи направлены в раствор.

## 2. Адсорбция ПАВ на гидрофильных поверхностях

## 2.1 Ионные ПАВ

При очень низких концентрациях ионные ПАВ адсорбируются на заряженных поверхностях почти исключительно по ионообменному механизму. Таким образом, противоионы диффузной части двойного электрического слоя вблизи поверхности вытесняются молекулами ПАВ, несущими тот же заряд. Ионный об мен приводит к повышению концентрации ПАВ вблизи поверхности по сравнению с его концентрацией в растворе. В результате на поверхности инициируется процесс мицеллообразования при концентрациях ПАВ в растворе значительно ниже ККМ. До сих пор остается дискуссионным вопрос о форме поверхностных мицелл: сферические они или полусферические. Но сам факт поверхностной агрегации молекул ПАВ при концентрациях ниже KKM не вызывает сомнений. При более высоких концентрациях ПАВ образуют на поверхности бислои, формирование которых заканчивается при ККМ. Нижний монослой бислоя не обязательно должен иметь плотнейшую упаковку. Зависимость адсорбции от концентрации ПАВ схематически представлена на рис.8, а, б; конкретный пример приведен на рис.8, в. Для отражения свойств систем при низких концентрациях оси ординат и абсцисс даны в логарифмическом масштабе.

Поверхностное агрегирование по природе аналогично мицеллообразованию, поэтому адсорбция также сильно зависит от длины алкильной цепи. Поверхностно-активное вещество с наибольшей длиной гидрофобной цепи адсорбируется в наибольшей степени. Из рис.9 видно, что адсорбция является кооперативным процессом, поскольку она резко возрастает в узком интервале концентраций. И наиболее значителен этот эффект для ПАВ с длинными "хвостами". Эти данные служат дополнительным доказательством сильной зависимости адсорбции от структуры молекул ПАВ и более слабой зависимости от взаимодействий молекул ПАВ с поверхностью.

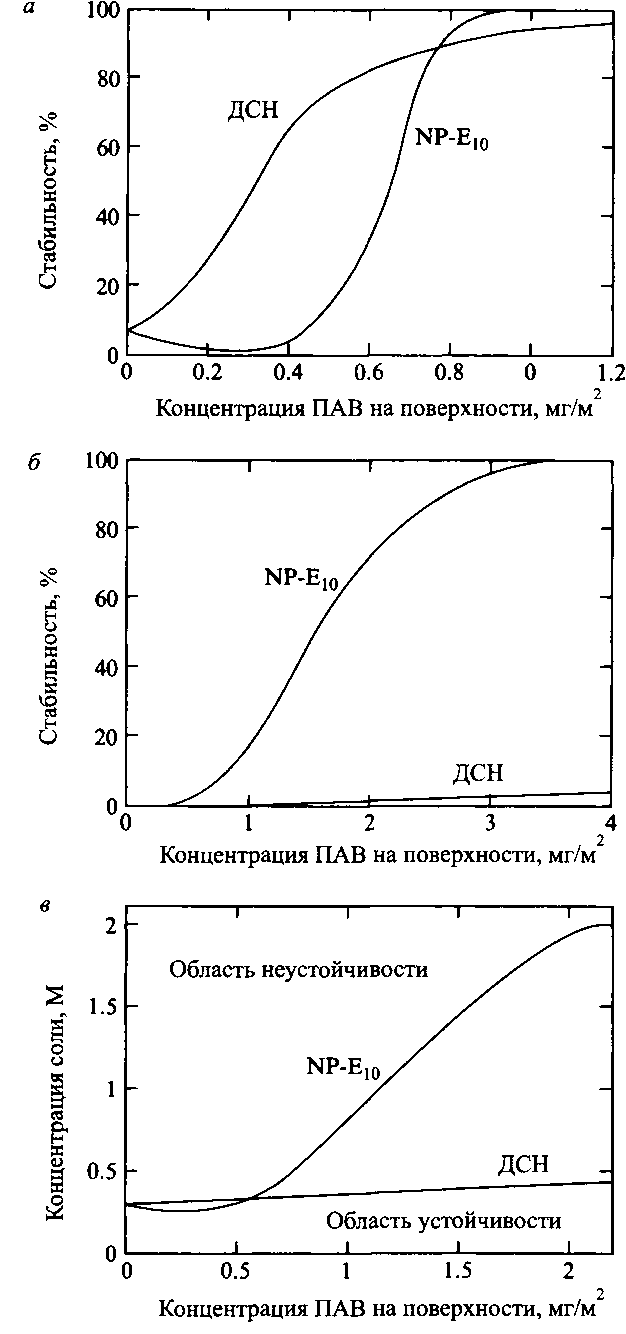


Рис.7. Влияние введенных ПАВ на устойчивость латекса по отношению к различным воздействиям: механическим, в циклах замораживание-размораживание, при добавлении электролита

Единственное требование заключается в том, что ПАВ должно иметь небольшое сродство к поверхности, чтобы повышалась его поверхностная концентрация, вызывая образование поверхностных агрегатов, т.е. поверхностное мицеллообразование.

Адсорбция ионных ПАВ на гидрофильных поверхностях практически не зависит от температуры, как это видно из рис.10, б. Адсорбция изменяется всего на 10-20% при изменении температуры на 50°С. Максимум адсорбции наблюдается при 25 °С, что совпадает с минимальным значением KKM поверхностно-активного вещества при этой же температуре.

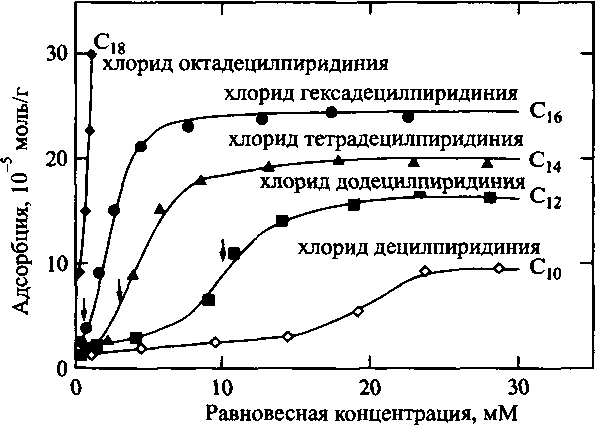


Рис. 9. Адсорбция некоторых катионных ПАВ на кремнеземе при рН 4. Кооперативность адсорбции возрастает с увеличением длины алкильных цепей

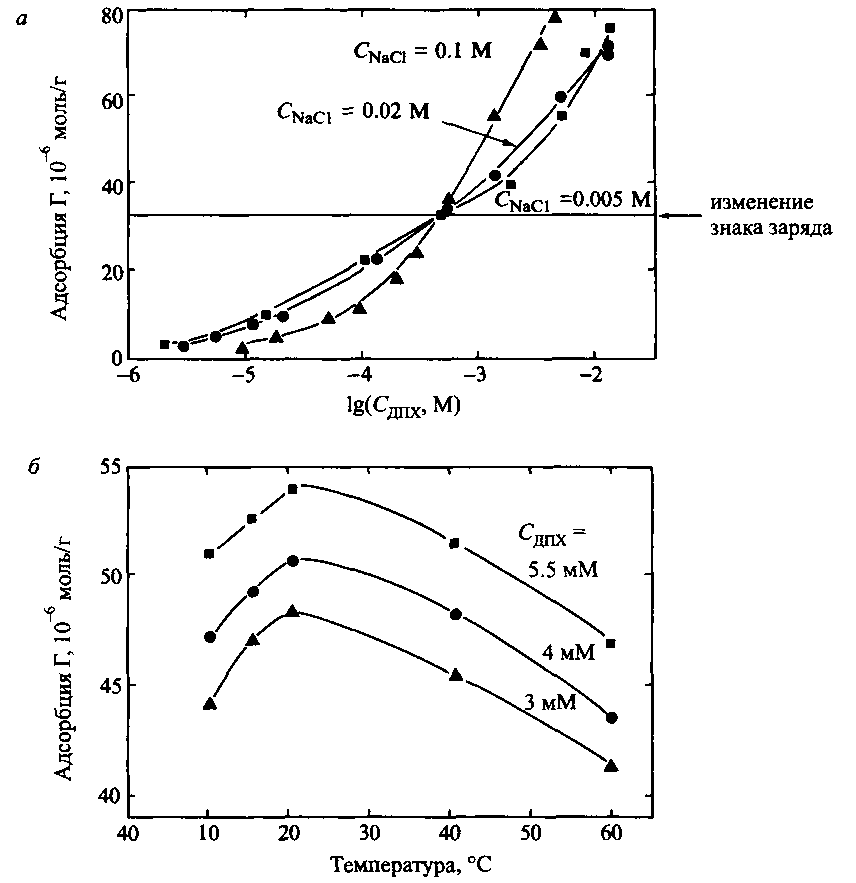


Рис.10. а - Адсорбция хлорида додецилпиридиния на каолине при трех различных значениях ионной силы, б - температурная зависимость адсорбции при трех концентрациях ДПХ выше изоэлектрической точки. С разрешения

## 2.2 Неионные ПАВ

Адсорбция неионных ПАВ на гидрофильных поверхностях контролируется взаимодействием между поверхностью и полиоксиэтиленовой цепью. Если такое взаимодействие есть, адсорбция протекает аналогично адсорбции ионных ПАВ на гидрофильных поверхностях. На рис.11 схематично представлена адсорбция неионного ПАВ на поверхности кремнезема. Кроме того, в этой системе наблюдается поверхностная агрегация ПАВ при концентрациях, намного меньших KKM поверхностно-активного вещества. Концентрация, при которой начинается поверхностное агрегирование, называется критической концентрацией поверхностного агрегирования. Эта величина имеет порядок одной десятой ККМ. На рис.11 ось ординат имеет линейный масштаб и поэтому изотерма имеет другую форму, чем на рис.8.

Изотермы адсорбции, похожие по виду на изотерму на рис.11, указывают на высокую степень кооперативности адсорбции выше точки ККПА. Адсорбция в этом случае может быть описана как индуцированная поверхностью самоорганизация. Отметим, что для индуцирования самоорганизации достаточно даже слабого взаимодействия ПАВ с поверхностью.

На рис.12, а, б представлены изотермы адсорбции ряда неионных ПАВ типа CmEn на кремнеземе. Прежде всего видно, что адсорбция резко увеличивается задолго до KKM. Кроме того, отметим, что на изотермах адсорбции наблюдаются плато при концентрациях, близких к KKM НПАВ. Наконец, обратим внимание, что ступенчатый характер изотерм, указывающий на высокую кооперативность, особенно ярко проявляется в случае НПАВ с низким содержанием полиоксиэтиленовых фрогментов. Результаты, приведенные на рис.12, отчетливо указывают на то, что НПАВ образуют на поверхности дискретные структуры, аналогичные мицеллам. Размер таких агрегатов увеличивается с увеличением длины углеводородной цепи в молекулах НПАВ.

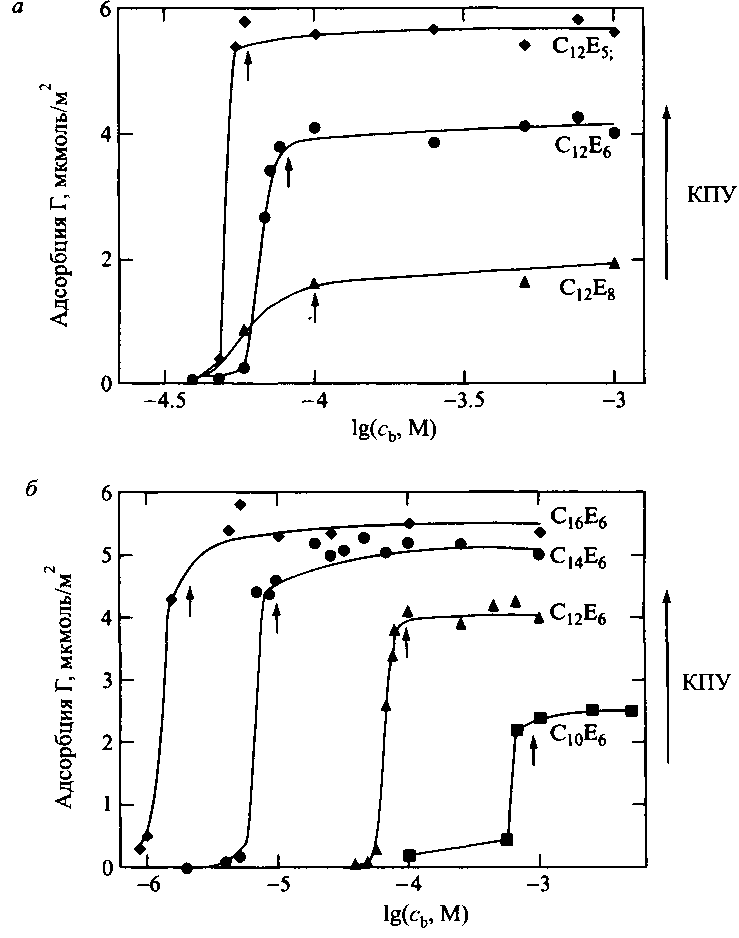


Рис.12. Корреляция между адсорбцией моноалкиловых эфиров полиэтиленгликолей на кремнеземе при 250C и величиной КПУ; съ-концентрация НПАВ в растворе

На рис.13 показаны изотермы адсорбции двух НПАВ, производных алкилфенолов, на кремнеземе, а именно, ОР-Е95 и NP-E9.5. Адсорбцию обоих НПАВ можно отразить одной кривой, если абсциссу представить в приведенных единицах. Отметим, что ход кривой аналогичен зависимостям, приведенным на рис.11 и 12. С помощью флуоресцентной спектроскопии было показано, что агрегаты НПАВ, образующиеся на поверхности, дискретны, т.е. при низких концентрациях на поверхности, не образуется монослой. Скорее поверхность покрыта отдельными агрегатами, и флуоресцентная метка обменивалась между ними с очень небольшими скоростями.

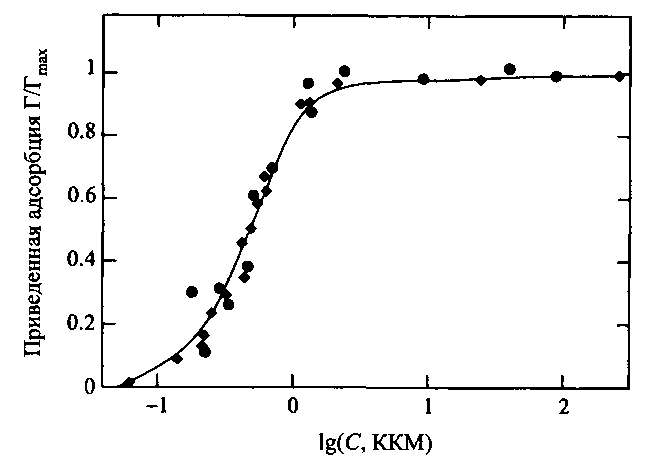


Рис.13. Адсорбция этоксилированных октилфенола и нонилфенола на кремнеземе. С разрешения. Copyright American Chemical Society

На рис.14 приведена изотерма адсорбция НПАВ - этоксилированных нонилфенолов - на каолине. Из рисунка следует, что адсорбция уменьшается с увеличением длины полиоксиэтиленовых цепей, т.е. по мере уменьшения КПУ. Это иллюстрирует тот факт, что поверхностное агрегирование более ярко выражено для НПАВ с небольшим числом оксиэтиленовых групп, что еще раз подчеркивает зависимость адсорбции ПАВ от свойств раствора: адсорбция увеличивается с увеличением КПУ поверхностно-активного вещества.

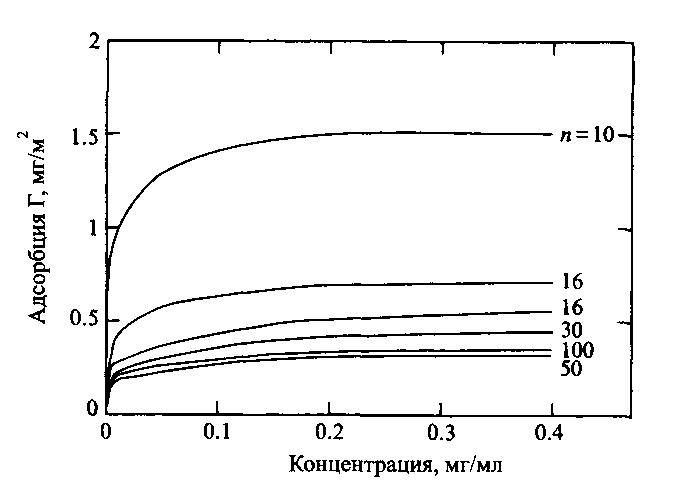


Рис. Адсорбция НПАВ на каолине при различной длине полиоксиэтиленовых цепей. При увеличении з увеличивается КПУ, что приводит к уменьшению адсорбции

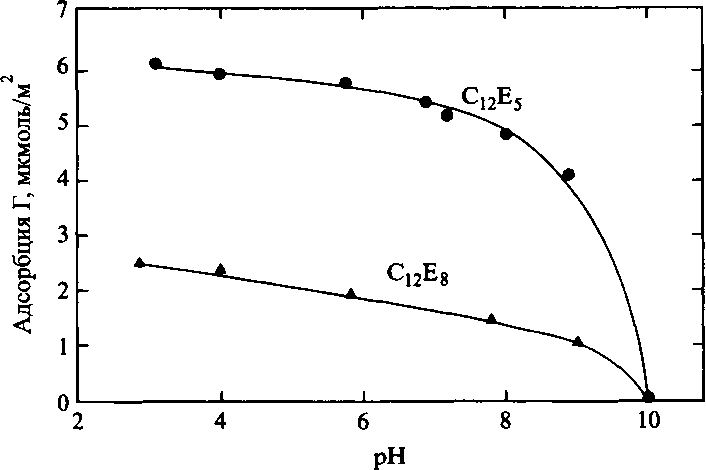


Рис.15. Адсорбция двух неионных ПАВ на кремнеземе в зависимости от рН.

Наконец, рис.15 показывает, что для адсорбции необходимо взаимодействие между ПАВ и поверхностью. Видно, что адсорбция двух НПАВ на кремнеземе снижается почти до нуля при рН ~10 и выше. В случае более гидрофобного НПАВ С12Е5 зависимость адсорбции от рН очень резкая при рН выше 9. Это указывает, что для адсорбции гидрофобных ПАВ достаточно лишь небольшого взаимодействия между ПАВ и поверхностью. Как только несколько молекул адсорбируются на поверхности, они образуют зародыш, на котором происходит дальнейшая адсорбция, сопровождающаяся поверхностным агрегированием. Этот эффект, как и следовало ожидать, слабее выражен для более гидрофильного НПАВ Ci2E8.

Результаты, представленные на рис.15, можно объяснить двумя способами. Во-первых, в щелочных растворах поверхностные гидроксильные группы адсорбента ионизованы и не могут образовывать водородные связи с молекулами НПАВ, вследствие этого адсорбция не происходит. Во-вторых, гидроксильные ионы из раствора конкурируют за адсорбционные центры на поверхности, и при рН выше 10 молекулы НПАВ полностью вытесняются с поверхности.

## 3. Конкурентная адсорбция: распространенность явления

Техническое использование поверхностно-активных веществ предполагает одновременное применение более одного ПАВ, поэтому изучение конкурентной адсорбции двух ПАВ представляет большой интерес. Рассмотрим два наглядных примера конкурентной адсорбции.

## 3.1 Смеси анионных и катионных ПАВ

Интуитивно можно предсказать, что при смешении анионного и катионного ПАВ будет выпадать осадок вследствие электростатического притяжения между компонентами, в результате чего образуется нерастворимый комплекс. Это предположение справедливо только для очень высоких концентраций поверхностно-активных веществ. При более низких концентрациях ПАВ, особенно если последние имеют короткие неполярные цепи, оба компонента могут одновременно находится в растворе. Адсорбция из смеси анионных и катионных ПАВ происходит таким образом, что на поверхности находятся эквимолярные количества каждого ПАВ. Однако относительная гидрофобность ПАВ также играет важную роль в процессе адсорбции. Дзета-потенциалы измерены при KKM смеси, т.е. можно с уверенностью считать, что поверхность частиц насыщена смесью ПАВ. Смесь ПАВ Cs - и Cs+ демонстрирует ожидаемое поведение, т.е. дзета-потенциал частиц латекса равен нулю при соотношении концентраций ПАВ 50: 50. Избыток одного из ПАВ создает поверхностный заряд, при этом регистрируется дзета-потенциал соответствующего знака.

Смеси ПАВ Cg" и C+ или Cn и Cg+ характеризуются совершенно другими свойствами. Нулевой дзета-потенциал достигается при соотношении компонентов в смеси 90: 10, причем более гидрофильное ПАВ должно присутствовать в смеси в избытке. Это показывает, насколько гидрофобность ПАВ важна для его адсорбции независимо от электростатического притяжения между полярными группами разных ПАВ, стремящегося обеспечить эквимолярный состав ПАВ на поверхности. Следовательно, при адсорбции гидрофобные взаимодействия превалируют над электростатическими; таким образом, свойства раствора ПАВ определяют адсорбцию.

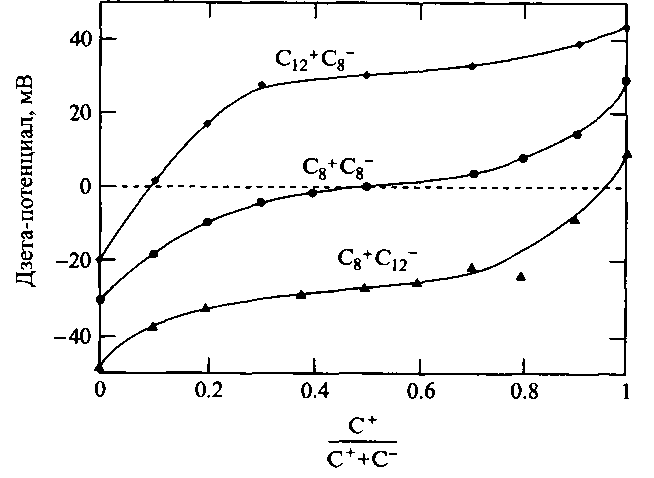


Рис.16. Дзета-потенциал латексных частиц в присутствии смеси анионного и катионного ПАВ с углеводородными радикалами различной длины.

## 3.2 Смеси анионных и неионных ПАВ

Смеси анионных и неионных ПАВ находят широкое применение в технике, поскольку они обеспечивают надежную стабилизацию дисперсий, обусловливая при адсорбции на поверхности частиц и электростатическое, и стерическое отталкивание. Состав адсорбционного слоя, как будет показано ниже, чрезвычайно сильно зависит от свойств растворов индивидуальных ПАВ, т.е. от их ККМ. На рис.17 приведены данные по одновременной адсорбции неионного ПАВ NP-Eio и анионного додецилсульфата натрия на поверхности частиц полистрирольного латекса. Соотношение NP-Ei о ДСН в растворе составляло 30: 70. Из рисунка видно, что неионное ПАВ находится в избытке в поверхностном слое, несмотря на то, что в растворе его концентрация намного ниже концентрации ДСН. Это свидетельствует о том, что на гидрофобной поверхности латекса преимущественно адсорбируется более гидрофобный NP-Ej о. Зависимость состава поверхностного слоя от состава раствора смеси ПАВ приведена на рис.18. Точки соответствуют данным, полученным при KKM смеси, т.е. в условиях насыщения поверхности смесью поверхностно-активных веществ. Видно, что неионное ПАВ преимущественно адсорбируется из раствора смеси на поверхности при всех составах раствора. Например, раствор смеси ПАВ при соотношении NP-Ei о - ДСН = 10: 90 находится в равновесии с адсорбционным слоем, в котором соотношение НС-Ею: ДСН равно 90: 10. Таким образом, совершенно ошибочно считать, оценивая состав адсорбционного слоя смеси поверхностно-активных веществ, что он соответствует составу смешанного раствора. Заметим также, что результаты, приведенные на рис.18, не зависят от природы поверхности.

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

Рис.18. Состав поверхностного слоя на латексных частицах в зависимости от состава смешанного раствора ПАВ, содержащего NP-Ejо и ДСН. Адсорбция на полистирольном и полибутилметакрилатном латексах. Штриховая прямая отвечает равному распределению между поверхностью и раствором; пунктирная линия - распределение, рассчитанное в предположении отсутствия взаимодействия между поверхностно-активными веществами). Сплошная линия - расчет с учетом взаимодействия между ПАВ

## 3.3 Смесь двух неионных ПАВ

Рассмотрим конкуренцию двух НПАВ за центры адсорбции на поверхности. Конечно, более гидрофобное НПАВ должно доминировать в адсорбционном слое вследствие его более низкой растворимости в водной фазе. Выше уже обсуждалась одновременная адсорбция на гидрофобной поверхности двух НПАВ. Напомним, что более гидрофобное НПАВ преимущественно адсорбируется на поверхности, а более гидрофильное предпочтительно остается в водной фазе.

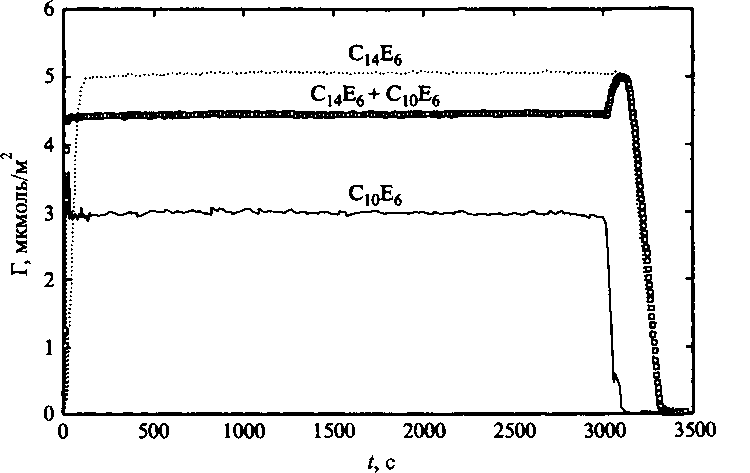
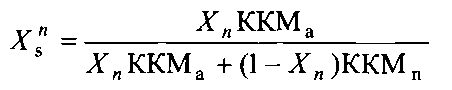


Рис. 19. Конкурентная адсорбция НПАВ из смешанного раствора СнЕб и СюЕб при молярном соотношении компонентов, равном 0.5, на поверхности кремнезема

На рис. 19 приведен еще один пример одновременной адсорбции неионных поверхностно-активных веществ из смешанного раствора. На поверхности кремнезема измерена адсорбция С^Еб и СюЕб при молярном соотношении, равном 0.5, и суммарной концентрации НПАВ 2 мМ, что намного превышает KKM смеси. Адсорбция этих НПАВ из индивидуальных растворов составляет - 3 ммоль/м2 для СюЕб и ~5ммоль/м2 для С^Еб. Величина адсорбции из смеси составляет 4.5 ммоль/м, что указывает на то, что в поверхностном слое в избытке присутствует СнЕб за счет уменьшения доли СюЕб. Еще интереснее ведут себя подобные системы при разбавлении.

Для понимания поведения системы при разбавлении полезно рассмотреть две экстремальные точки. При очень большой концентрации НПАВ состав поверхностного слоя приближается к составу исходного раствора. При адсорбции из разбавленного раствора состав поверхностного слоя описывается уравнением

При разбавлении состав поверхностного слоя обогащается более гидрофобным НПАВ, и, соответственно, доля более гидрофильного НПАВ снижается. При разбавлении смеси химический потенциал более гидрофобного НПАВ увеличивается, следовательно, адсорбция увеличивается, а более гидрофильное НПАВ десорбируется с поверхности. Заметим, что подобные явления играют важную роль в процессах отмывания, например в посудомоечных машинах, когда полоскание приводит к повторному осаждению более гидрофобных веществ на поверхностях.

## 3.4 Смеси анионного ПАВ и полимера

Во многих технологиях одновременно используются поверхностно-активные вещества и водорастворимые полимеры. В таких случаях адсорбция на поверхностях контролируется взаимодействиями между ПАВ и полимером. Рассмотрим адсорбцию на полярной поверхности, когда ПАВ адсорбируются за счет взаимодействия с поверхностью полярных групп. Углеводородные цепи ПАВ создают ядро для последующей адсорбции за счет гидрофобных взаимодействий. Водорастворимые полимеры облегчают мицеллобразование ионных ПАВ, экранируя полярные группы ПАВ в мицелле. Это справедливо и для мицеллярных агрегатов, адсорбированных на поверхности.