

УДК 541.182

**И. И. Гончарик**, кандидат технических наук, старший научный сотрудник (ИОНХ НАН Беларуси); **Ф. Ф. Можейко**, доктор химических наук, член-корреспондент НАН Беларуси, главный научный сотрудник (ИОНХ НАН Беларуси); **Т. Н. Поткина**, кандидат химических наук, старший научный сотрудник (ИОНХ НАН Беларуси); **А. И. Войтенко**, научный сотрудник (ИОНХ НАН Беларуси)

### РЕГУЛИРОВАНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ И РАЗРУШЕНИЯ ПЕН, ОБРАЗОВАННЫХ ВОДНЫМИ РАСТВОРАМИ НАТРИЕВЫХ СОЛЕЙ КАРБОНОВЫХ КИСЛОТ

Изучена пенообразующая способность водных растворов индивидуальных натриевых солей карбоновых кислот с длиной углеводородной цепи  $C_4$ ,  $C_5$ ,  $C_8$ ,  $C_{12}$ ,  $C_{14}$ ,  $C_{16}$ . Введение в эти растворы неорганических электролитов и алифатических спиртов приводит к изменению их пенообразующей способности. Определены пороговые концентрации неорганических электролитов, при которых наблюдается максимальное пенообразование.

It is studied foaming ability of water solutions individual sodium salts carboxil acids with length of hydrocarbonic chain  $C_4$ ,  $C_5$ ,  $C_8$ ,  $C_{12}$ ,  $C_{14}$ ,  $C_{16}$ . Introduction in these solutions of inorganic electrolits and alifatic spirits leads to change their foaming ability. Threshold concentration of inorganic electrolits at which the maximum foaming is observed are defined.

**Введение.** При флотационном обогащении различных руд, в том числе и фосфоритовых, пенообразующая способность флотореагентов играет исключительно важную роль. От свойств пены существенно зависит извлечение флотируемого минерала, качество получаемого продукта. Для успешного проведения флотационного процесса необходима пена с оптимальной дисперсностью и временем существования, так как эти факторы определяют эффективность закрепления частиц минерала на воздушных пузырьках и вынос их на поверхность. Малоустойчивая пена не обеспечивает высокого извлечения флотируемого продукта, а пена с большим временем жизни может вызвать технологические осложнения на последующих стадиях процесса [1–5].

**Основная часть.** В настоящее время на ряде химических предприятий имеются побочные продукты и отходы, содержащие смеси натриевых солей карбоновых кислот одного гомологического ряда: щелочной сток производства капролактама (адипаты), жировой гудрон – отход жиркомбинатов и др. В основном их используют в качестве пенообразователей или реагентов-собираателей при флотации различных руд (калийных, фосфоритных и др.).

С целью научного обоснования их влияния на флотационный процесс представляло интерес изучить пенообразующую способность водных растворов натриевых солей карбоновых кислот (лауриновой, миристиновой, пальмитиновой), входящих в состав вышеперечисленных отходов, в присутствии неорганических электролитов и спиртов.

Опыты проводили следующим образом. В стеклянный градуированный цилиндр вводили 20 мл жидкой фазы с определенной

концентрацией испытуемых реагентов в воде и перемешивали 30 с. Эффективность действия изучаемых составов оценивали по изменению объема получаемой пены и времени ее жизни.

Для сравнения сначала были изучены пенообразующие свойства водных растворов индивидуальных натриевых солей карбоновых кислот – масляной ( $C_4$ ), пентановой ( $C_5$ ), октановой ( $C_8$ ), лауриновой ( $C_{12}$ ), миристиновой ( $C_{14}$ ), пальмитиновой ( $C_{16}$ ) марки «х.ч.». Из полученных данных видно (рис. 1), что пенообразующая способность этих соединений зависит от концентрации исследованных реагентов и длины цепи их молекул. Вспениваемость этих растворов резко возрастает по мере увеличения концентраций до значений, соответствующих критическим концентрациям мицеллообразования (ККМ), составляющим для лаурата, мирилата и пальмитата натрия  $2,28 \cdot 10^{-2}$ ,  $6,96 \cdot 10^{-3}$  и  $2,1 \cdot 10^{-3}$  моль/л [6]. В этой области наблюдается максимум пенообразования, что можно связать с завершением формирования адсорбционного слоя, который приобретает максимальную механическую прочность. При дальнейшем повышении концентрации (выше ККМ) наблюдается образование ассоциатов (мицелл) в объеме раствора, что вызывает уменьшение скорости диффузии молекул в поверхностный слой, вследствие чего происходит некоторое снижение пенообразующей способности.

Увеличение длины углеводородной цепи в гомологическом ряду мыл приводит вначале к повышению их пенообразующей способности, которая достигает максимума для мирилата натрия. Так, в водных растворах октаоата, лаурата, мирилата и пальмитата

натрия максимальное значение столба пены составляет 15,5, 18,0, 19,0 и 3,5 см соответственно. Следует отметить, что короткоцепочечные натриевые соли масляной и пентановой кислот даже в концентрированных 25–50%-ных растворах не образуют пен. С увеличением длины углеводородной цепи молекулы мыла концентрация, соответствующая максимальной пенообразующей способности, уменьшается. Так, если для октаноата натрия она составляет 0,6 моль/л, то для лаурата и мирилата натрия –  $2,28 \cdot 10^{-2}$  и  $6,96 \cdot 10^{-3}$  моль/л соответственно.

Важным фактором, определяющим свойства пены, является ее стабильность. При изучении устойчивости пен, образованных натриевыми мылами, показано, что она также определяется природой и концентрацией поверхностно-активных веществ (ПАВ) и достигает максимума при ККМ. Так, в случае образования пен растворами лаурата натрия, содержащими  $5,6 \cdot 10^{-3}$  (до ККМ),  $2,28 \cdot 10^{-2}$  (ККМ) и  $3,3 \cdot 10^{-2}$  моль/л (выше ККМ), время жизни пены составило 17, 100 и 40 мин соответственно.

С повышением длины цепи в гомологическом ряду натриевых солей карбоновых кислот стабильность пен повышается до мирилата натрия, а затем падает. Так, если пена, полученная в присутствии октаноата натрия, разрушается в течение 5 мин (рис. 1, кривая 8), то пены, образованные мирилатом натрия, в течение 100 мин уменьшились на 50% (рис. 1, кривая 3), лауратом натрия – на 80% (рис. 1, кривая 1), а пены, полученные в растворах пальмитата натрия, полностью разрушились в течение 50 мин (рис. 1, кривая 7).

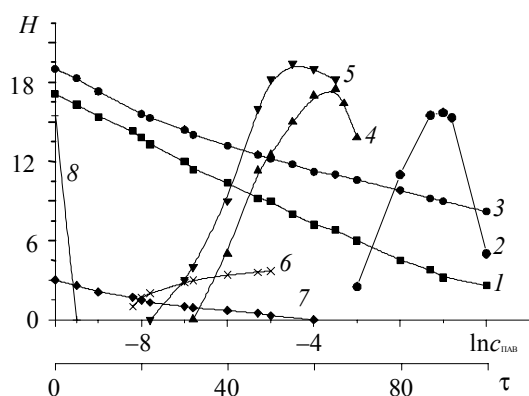


Рис. 1. Зависимость высоты столба пены  $H$  (см) (2, 4, 6) от концентрации натриевых солей карбоновых кислот ( $\ln c_{\text{ПАВ}}$ ) и кинетики разрушения пены  $\tau$  (мин) (1, 3, 7, 8): 1, 4 – лаурат натрия; 3, 5 – мирилат натрия; 6, 7 – пальмитат натрия; 2, 8 – октаноат натрия

Поскольку многие процессы пенообразования проходят в присутствии неорганических солей, представляло интерес изучить их влияние на формирование пен в растворах натриевых мыл. В качестве неорганических солей были испытаны хлориды натрия, калия, кальция, алюминия, а пенообразователей – натриевые соли карбоновых кислот (лауриновой, миристиновой, пальмитиновой).

Показано [7], что пенообразование растворов ПАВ начинается при объемной концентрации, соответствующей насыщению адсорбционного слоя ( $c_m$ ). Также известно, что в присутствии электролитов насыщение адсорбционного слоя достигается при меньших объемных концентрациях ПАВ. На основании проведенных исследований было установлено, что снижение  $c_m$  при увеличении концентрации противоиона  $c_i$  для мицеллообразующих ПАВ подчиняется уравнению [7]

$$\lg c_m = -a \lg c_i + \text{const},$$

т.е. повышение концентрации электролита уменьшает концентрацию ПАВ, при которой происходит образование пены.

Влияние электролитов, согласно данным [6], на величину  $c_m$  и ККМ (критическая концентрация мицеллообразования) проявляется достаточно отчетливо. Так, уже при концентрациях NaCl, равных  $2,18 \cdot 10^{-2}$  и  $3,0 \cdot 10^{-2}$  моль/л ККМ для лаурата натрия снижается до  $1,82 \cdot 10^{-2}$  и  $1,49 \cdot 10^{-2}$  моль/л соответственно против  $2,77 \cdot 10^{-2}$  моль/л в водной среде (температура 25°C).

В результате полученных экспериментальных данных было установлено, что в присутствии неорганических электролитов резко повышается вспениваемость исследованных ПАВ (лаурата, мирилата, пальмитата натрия), которая зависит как от концентрации и природы натриевых мыл, так и неорганических солей.

Следует отметить, что с увеличением гидрофобности молекул исследуемых ПАВ максимальное пенообразование происходит при меньшей концентрации раствора хлорида калия. Так, для указанных натриевых солей карбоновых кислот оно наблюдается при содержании хлорида калия в растворе, равном 0,07 моль/л, 0,04–0,06 и 0,003 моль/л соответственно. В этом случае высота пены для этих растворов достигает 18,2 см, 18,0 и 15,3 см соответственно против 3 см, 4 и 2 см, образованной данными ПАВ в водном растворе (табл. 1). Это связано с тем, что с увеличением длины цепи натриевых мыл насыщение адсорбционного слоя ( $c_m$ ) будет достигаться при меньших концентрациях электролита.

Таблица 1

## Влияние концентрации хлорида калия на пенообразование Na-солей карбоновых кислот

Лаурат Na, $c = 5,6 \cdot 10^{-3}$ моль/л		Мирилат Na, $c = 2,1 \cdot 10^{-3}$ моль/л		Пальмитат Na, $c = 0,9 \cdot 10^{-3}$ моль/л	
Концентрация KCl, моль/л	Высота пены, см	Концентрация KCl, моль/л	Высота пены, см	Концентрация KCl, моль/л	Высота пены, см
–	3,0	–	4,0	–	2,0
$1,0 \cdot 10^{-3}$	5,1	$2,0 \cdot 10^{-3}$	5,0	$5,5 \cdot 10^{-4}$	4,0
$6,0 \cdot 10^{-3}$	12,0	$3,0 \cdot 10^{-3}$	10,2	$4,0 \cdot 10^{-4}$	10,7
0,02	14,2	0,01	14,2	$3,0 \cdot 10^{-3}$	15,3
0,07	18,2	0,02	17,0	$6,0 \cdot 10^{-3}$	13,2
0,18	18,0	0,04	18,0	0,01	11,0
0,50	16,0	0,06	18,0	0,08	6,6

Аналогичные результаты получены в присутствии других неорганических электролитов (хлоридов натрия, магния, кальция, алюминия), которые зависят как от концентрации и природы натриевых мыл, так и неорганических солей (рис. 2).

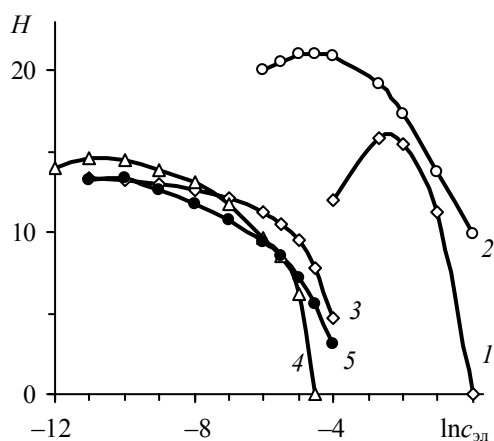


Рис. 2. Влияние концентрации неорганических электролитов  $\ln c_{эл}$  (моль/л) на пенообразование лаурата натрия ( $H$ ):  
1 – NaCl; 2 – KCl; 3 – CaCl<sub>2</sub>;  
4 – MgCl<sub>2</sub>; 5 – AlCl<sub>3</sub>

При изучении влияния природы катиона на пенообразование натриевых мыл установлено, что чем больше степень гидратации ионов, тем при меньших концентрациях наблюдается максимальное пенообразование. По этим свойствам их можно расположить в следующий лиотропный ряд: Al > Ca > Mg > K > Na, т.е. чем больше ион способен связывать растворитель, тем больше он будет уменьшать способность среды растворять ПАВ. Поэтому наиболее гидратированные ионы повышают пенообразование при значительно меньших концентрациях. Так, для лаурата натрия при концентрации  $2,84 \cdot 10^{-2}$  моль/л при температуре 20°C (ККМ) в присутствии хлоридов K, Na, Mg, Ca и Al наибольшее пенообразование наблюдается при

концентрациях, равных  $1 \cdot 10^{-2}$ ,  $9 \cdot 10^{-2}$ ,  $7,5 \cdot 10^{-5}$ ,  $4,5 \cdot 10^{-5}$  и  $1,7 \cdot 10^{-5}$  моль/л соответственно. Следует отметить, что при концентрации лаурата натрия  $5,6 \cdot 10^{-3}$  моль/л (до ККМ) хлориды натрия и калия оказывают разное действие на образование пены. В присутствии хлорида калия максимальное пенообразование наблюдается в широкой области концентраций от 0,1 до 1,5 моль/л, тогда как NaCl – только около 0,1 моль/л. Такое же действие оказывают эти электролиты и на пенообразование мирилата натрия.

Важным свойством пены является ее стабильность, которая определяется временем существования всего объема пены или определенной ее доли (например, половины объема). При изучении влияния хлоридов калия и натрия на стабильность пены, полученной  $5,6 \cdot 10^{-3}$  моль/л раствором лаурата натрия, было установлено, что присутствие этих электролитов значительно повышает ее устойчивость. Так, если пена, образованная данным ПАВ, в водной среде разрушается полностью в течение 10 мин, то при введении в раствор небольших количеств  $0,35$ – $0,88 \cdot 10^{-2}$  моль/л хлорида калия она даже в течение часа уменьшается только на 20–30% от ее первоначального значения. С ростом содержания электролита в растворе стабильность пены падает, и уже при концентрациях выше  $6,7 \cdot 10^{-2}$  моль/л она гаснет за 20–50 мин. В присутствии хлорида натрия устойчивость пены сохраняется в более широком интервале концентраций от  $0,42 \cdot 10^{-2}$  до  $4,2 \cdot 10^{-2}$  моль/л.

Разрушению пены предшествует вытекание жидкости из нее (синерезис пены). Синерезис пены количественно характеризуется объемом жидкости, собирающейся ниже границы раздела пена – раствор за определенный промежуток времени. Стеkanie жидкости в пене совершается в основном по каналам треугольного сечения (каналам Плато – Гиббса).

Синерезис пен – одна из стадий процесса старения пен, поэтому исследование закономерностей синерезиса позволяет раскрыть некоторые важные особенности механизма разрушения пены.

Для характеристики синерезиса пен, т.е. зависимости скорости стекания жидкости из пены от времени, нами использовано уравнение [8]

$$\frac{K_1}{2} \tau = \frac{\tau}{V'} - \frac{1}{W_0},$$

где  $K_1$  – постоянная;  $V'$  – объем стекшей жидкости, отнесенный к единице площади сечения сосуда с пеной;  $W_0$  – начальная скорость стекания;  $\tau$  – время.

Применяемость его для пен подтверждена в работе [8], а также нашими исследованиями. Изучено влияние концентрации электролитов – хлоридов калия и натрия, на зависимость скорости стекания жидкости из пены, образованной  $5,6 \cdot 10^{-3}$  моль/л раствором лаурата натрия от времени. 20 мл раствора встряхивали в течение 60 с в мерном цилиндре с притертой пробкой. По окончании встряхивания регистрировали объем стекшей жидкости через определенные промежутки времени. Результаты нескольких опытов представлены в табл. 2.

Из полученных данных видно, что введение неорганических электролитов уменьшает скорость стекания жидкости из пены. Так, если без добавки электролита  $W_0$  составляет  $26,7 \cdot 10^{-3}$  м/с, то при введении  $4,2 \cdot 10^{-3}$  моль/л хлорида натрия и  $7,0 \cdot 10^{-3}$  моль/л хлорида калия она падает до  $3,3 \cdot 10^{-3}$  и  $4,3 \cdot 10^{-3}$  м/с соответственно, т.е. уменьшается в ~6–8 раз. С увеличением концентрации электролита скорость истечения жидкости из пены плавно уменьшается, и при содержании NaCl в растворе  $8,5 \cdot 10^{-2}$  а KCl –  $2,6 \cdot 10^{-3}$  моль/л она падает до  $1,8 \cdot 10^{-3}$  и  $1,3 \cdot 10^{-3}$  м/с соответственно.

Таким образом, небольшие концентрации электролита способствуют образованию более плотного сольватно-адсорбционного слоя на границе газ – жидкость, что и вызывает повышение пенообразующей способности растворов и стабильности пен. При дальнейшем повышении содержания неорганических солей в рас-

творе происходит высаливание ПАВ в осадок, что снижает концентрацию последних в системе, вызывая уменьшение пенообразования и устойчивости пен.

Во многих технологических процессах, в частности, при флотационном обогащении полезных ископаемых, используют смеси натриевых мыл с алифатическими спиртами, которые являются более эффективными по сравнению с индивидуальными веществами. Поэтому представляло интерес изучить пенообразование водных растворов, содержащих натриевые мыла и алифатические спирты.

Поскольку во многих случаях пенообразование проходит в присутствии неорганических электролитов, представляло интерес изучить также их влияние на образование пен, полученных водными растворами натриевых солей карбоновых кислот (лауриновой, миристиновой, пальмитиновой) как в растворах индивидуальных натриевых мыл, так и в смеси с алифатическими спиртами. В качестве неорганических электролитов, кроме хлоридов натрия, калия, кальция, магния и алюминия, использовали также фосфат натрия.

При изучении влияния алифатических спиртов (бутилового и гептилового) на пенообразующую способность натриевых мыл установлено, что спирты оказывают положительное действие на пенообразование натриевых мыл, и оно зависит как от природы, так и концентрации используемых веществ. Показано, что с увеличением содержания спиртов в растворе пенообразование этих смесей сначала повышается до максимального значения, а затем падает (рис. 3).

Наибольшее пенообразование для лаурата, миристата и пальмитата натрия наблюдается при концентрациях гептилового спирта, равных  $2,5\text{--}15 \cdot 10^{-3}$ ,  $5\text{--}15 \cdot 10^{-3}$  и  $5\text{--}10 \cdot 10^{-3}$  моль/л, и высота пены достигает 22, 20 и 15 см соответственно против 14, 12, и 10 см для этих мыл без добавки. При дальнейшем повышении концентрации спирта в растворе наблюдается резкое снижение пенообразования, что можно связать с насыщением поверхностного слоя молекулами спирта, вытеснением ими молекул мыла. Это и приводит к уменьшению образования пены, т.е. происходит ее гашение.

Таблица 2

Влияние концентрации хлоридов калия и натрия на значения  $W_0$  и  $K_1$  для пен, полученных лауратом натрия ( $c = 5,6 \cdot 10^{-3}$  моль/л)

Концентрация NaCl, моль/л	$W_0$ , м/с	$K_1$ , м	Концентрация KCl, моль/л	$W_0$ , м/с	$K_1$ , м
–	$2,67 \cdot 10^{-2}$	51,8	–	$2,67 \cdot 10^{-2}$	51,8
$4,2 \cdot 10^{-3}$	$3,3 \cdot 10^{-3}$	56,7	$7,0 \cdot 10^{-6}$	$4,3 \cdot 10^{-3}$	52,9
$2,1 \cdot 10^{-2}$	$3,1 \cdot 10^{-3}$	57,4	$1,0 \cdot 10^{-6}$	$2,0 \cdot 10^{-3}$	54,8
$4,2 \cdot 10^{-2}$	$3,0 \cdot 10^{-3}$	56,5	$4,3 \cdot 10^{-4}$	$3,5 \cdot 10^{-3}$	59,4
$8,5 \cdot 10^{-2}$	$1,8 \cdot 10^{-3}$	50,6	$2,6 \cdot 10^{-3}$	$1,3 \cdot 10^{-3}$	61,6

Показано, что бутиловый спирт оказывает значительно меньшее воздействие на пенообразующую способность исследуемых ПАВ, чем гептиловый спирт. Так, при введении их в количестве  $10 \cdot 10^{-3}$  моль/л в раствор миристата натрия высота пены достигает 5 и 20 см соответственно.

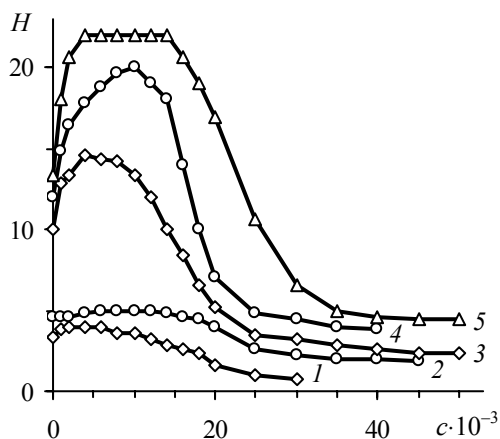


Рис. 3. Влияние концентрации спиртов  $c$  (моль/л) на пенообразующую способность  $H$  (см) натриевых солей карбоновых кислот:  
1, 2 – бутиловый спирт; 1, 3 – пальмитат натрия;  
2, 4 – миристат натрия; 3–5 – гептиловый спирт;  
5 – лаурат натрия

Введение спиртов в растворы натриевых мыл значительно повышает стабильность получаемых пен. Так, если пена, образованная лауратом натрия, гаснет в течение 15 мин, то при содержании в нем  $8,85 \cdot 10^{-3}$  моль/л гептилового спирта даже через 1,5 ч остается приблизительно 40% пены от первоначальной высоты.

Положительное действие спиртов на пенообразование водных растворов натриевых мыл объясняется способностью последних растворять спирты. Поэтому нами была изучена соллюбилизация алифатических спиртов (бутилового и гептилового) раствором лаурата натрия. Известно [9], что наличие в молекулах спирта гидроксильных групп, менее полярных по сравнению с ионизированными группами мицеллообразующих ионов ПАВ, способствует встраиванию их в частокольный слой мицеллы лаурата натрия, т.е. происходит растворение спиртов в мицеллах ПАВ.

Для исследования соллюбилизации спиртов растворами лаурата натрия был применен точный и быстрый рефрактометрический метод. Полученные значения равновесной соллюбилизации бутилового и гептилового спиртов в вод-

ных растворах лаурата натрия при  $30^\circ\text{C}$  в области концентрации 0,5–5,0 г/100 мл показали разную концентрационную зависимость соллюбилизации (рис. 4).

Растворимость изученных спиртов (г/100 мл) ступенчато увеличивается с ростом концентрации лаурата натрия. При этом можно выделить два участка, отличающихся по углам наклона кривой. При растворении бутилового и гептилового спиртов точки перегиба наблюдаются при концентрации лаурата натрия 1,5 и 3,0 г/100 мл соответственно. С ростом длины цепи в гомологическом ряду спиртов коллоидное растворение их в лаурате натрия уменьшается. Так, если при концентрации лаурата натрия 0,5 г/100 мл бутилового спирта растворяется 10 г/100 мл, то гептилового – только 0,5 г/100 мл. Это можно объяснить уменьшением истинного растворения веществ одного гомологического ряда по мере увеличения длины углеводородного радикала.

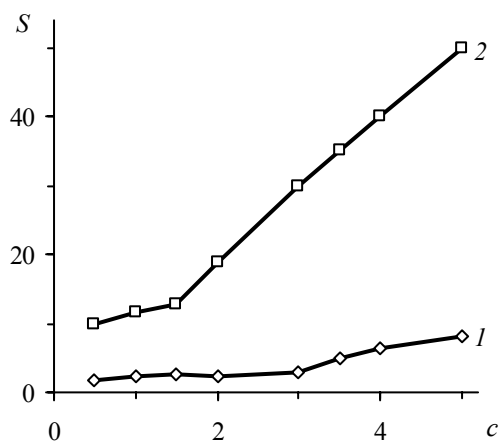


Рис. 4. Зависимость растворимости  $S$  (г/100 мл) алифатических спиртов от концентрации  $c$  (г/100 мл) лаурата натрия:  
1 – гептиловый спирт; 2 – бутиловый спирт

Представленные выше значения пределов концентраций данных спиртов, при которых наблюдается максимум пенообразования, соответствуют величинам, определяющим предельную соллюбилизацию их в растворе лаурата натрия при данной концентрации.

Изучено влияние электролитов различной природы (хлориды натрия, калия, алюминия, а также фосфат натрия) на вспениваемость растворов натриевых солей карбоновых кислот, содержащих добавки алифатических спиртов. На примере растворов лаурата натрия ( $c = 5,8 \cdot 10^{-3}$  моль/л) с добавкой гептилового спирта ( $c = 0,86 \cdot 10^{-3}$  моль/л) показано, что все электролиты оказывают положительное действие на пенообразующую

способность этой смеси. С увеличением их концентраций высота пены повышается до максимальной величины, а затем падает (рис. 5), т.е. для каждого случая определяется пороговая концентрация, выше которой снижается пенообразование.

Фосфат натрия оказывает меньшее действие, чем хлориды. Максимум пенообразования в присутствии  $\text{Na}_3\text{PO}_4$  наблюдается при значительно меньших концентрациях, чем в присутствии хлоридов натрия и калия. Это связано с различной гидратацией ионов, т.е. чем больше ион способен связывать растворитель, тем больше он будет уменьшать способность среды растворять ПАВ. Поэтому наиболее гидратированные ионы повышают пенообразование при значительно меньших концентрациях.

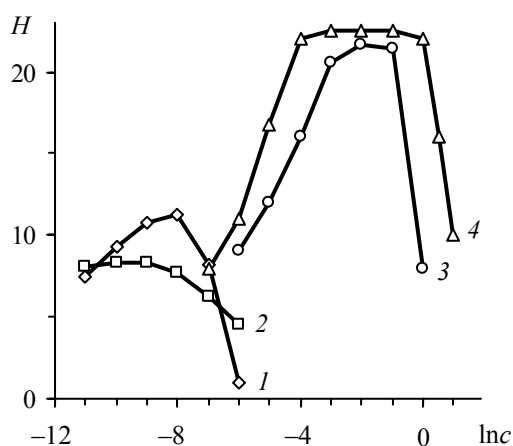


Рис. 5. Зависимость пенообразующей способности  $H$  (см) смеси лаурата натрия и гептилового спирта от концентрации солей  $lnc$  (моль/л): 1 –  $\text{Na}_3\text{PO}_4$ ; 2 –  $\text{AlCl}_3$ ; 3 –  $\text{NaCl}$ ; 4 –  $\text{KCl}$

Присутствие спирта несколько расширяет область концентраций электролитов, при которых образуются пены. Так, если в концентрированных растворах хлорида натрия лаурат натрия пены не образует, то введение гептилового спирта в количестве  $0,89 \cdot 10^{-3}$  моль/л высота пены достигает 6,5 см даже в 2 М растворе  $\text{NaCl}$ .

Добавки гептилового спирта значительно повышают также стабильность пен, полученных натриевыми мылами в присутствии неорганических электролитов. На рис. 6 представлена кинетическая устойчивость пен, образованных водным раствором лаурата натрия с добавкой гептилового спирта, при различных концентрациях  $\text{KCl}$ . Установлено, что пена, полученная лауратом натрия ( $c = 5,8 \cdot 10^{-3}$  моль/л) в водной среде (кривая 1) гаснет в течение

20 мин, в насыщенном растворе  $\text{KCl}$  – за 50 мин (кривая 3), а при введении гептилового спирта в количестве  $0,85 \cdot 10^{-3}$  моль/л даже в течение 1,5 ч ее остается 90% от первоначальной высоты (кривая 6).

Положительный эффект алифатических спиртов и неорганических электролитов на пенообразование натриевых мыл карбоновых кислот объясняется синергизмом их действия. Способность спиртов сольбилизоваться в мицеллах мыл и действие электролитов на уменьшение концентраций ПАВ, при которых происходит насыщение адсорбционного слоя, будут способствовать созданию более прочного адсорбционного слоя на границе газ – жидкость, вызывая тем самым повышение пенообразования и стабильности пен.

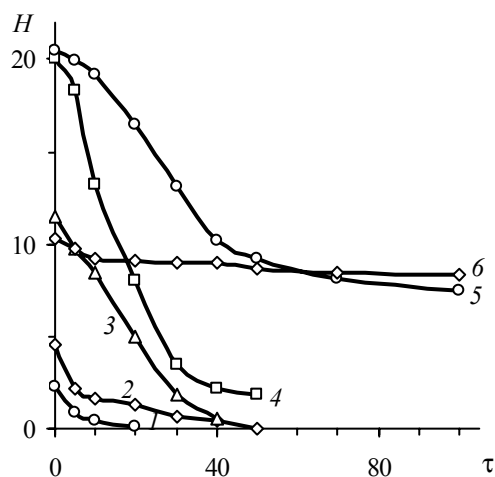


Рис. 6. Кинетическая зависимость устойчивости пен  $H$  (см), образованных водными растворами лаурата натрия (1, 3, 4) и лаурата натрия с добавкой гептилового спирта (2, 5, 6) при различных концентрациях  $\text{KCl}$  (моль/л);  $\tau$  – время (мин): 1, 2 – без электролита; 3, 6 – 3,2 моль/л; 4, 5 – 0,44 моль/л

**Заключение.** Таким образом, нами показано, что пенообразующая способность водных растворов натриевых солей карбоновых кислот (лауриновой, миристиновой и пальмитиновой) в присутствии неорганических электролитов и алифатических спиртов зависит как от природы, так и концентрации используемых реагентов.

### Литература

1. Классен, В. И. Обогащение руд / В. И. Классен. – М.: Недра, 1979. – 240 с.
2. Ратобыльская, Л. Д. Обогащение фосфоритовых руд / Л. Д. Ратобыльская, Н. Н. Бойко, А. О. Кожевников. – М.: Недра, 1979. – 260 с.

3. Егоров, В. Л. Обогащение полезных ископаемых / В. Л. Егоров. – М.: Недра, 1986. – 421 с.

4. Абрамов, А. А. Переработка, обогащение и комплексное использование твердых полезных ископаемых / А. А. Абрамов. – М.: Изд-во МГГУ, 2004. – 510 с.

5. Технология обогащения фосфоритовых руд Мстиславльского месторождения Республики Беларусь / Ф. Ф. Можейко [и др.] // Химическая промышленность. – 2006. – № 10. – С. 459–465.

6. Поверхностные явления и поверхностно-активные вещества: справочник / под ред. А. А. Абрамзон и Е. Д. Щукина. – Л.: Химия, 1984. – 392 с.

7. Чистяков, Б. Е. Образование и основные свойства пен / Б. Е. Чистяков, В. И. Чернин // Коллоидный журнал. – 1988. – № 1. – С. 187–192.

8. Кругляков, П. М. Влияние вязкости и концентрации растворов поверхностно-активных веществ на синерезис пен / П. М. Кругляков, П. Р. Таубе // Успехи химии. – 1973. – С. 304–308.

9. Гракова, Т. С. Исследование солубилизации гексилового и октилового спиртов в системах олеат натрия – вода / Т. С. Гракова, И. Н. Цикурина, З. А. Маркина // Коллоидный журнал. – 1972. – Т. 34, № 6. – С. 844.

*Поступила 04.03.2011*