

## POLYACRYLAMIDES FLOCCULANTS

V. F. KURENKOV

*The influence of water-soluble polymers and copolymers of acrylamides on flocculating parameters is shown. Using model dispersion systems (kaolin, ochre) consideration is given to the effect of various parameters of water-soluble polymers and copolymers of acrylamide and of characteristics of the dispersed systems upon the flocculation power of flocculants.*

*Опираясь главным образом на эксперименты с модельными дисперсными системами (каолин, охра), проанализировано влияние на флокулирующие свойства водорастворимых полимеров и сополимеров акриламида основных молекулярных характеристик флокулянтов, а также характеристик дисперсных систем.*

# ПОЛИАКРИЛАМИДНЫЕ ФЛОКУЛЯНТЫ

В. Ф. КУРЕНКОВ

Казанский государственный технологический университет

## ВВЕДЕНИЕ

Флокулянты – это водорастворимые высокомолекулярные соединения, которые при введении в дисперсные системы адсорбируются или химически связываются с поверхностью частиц дисперской фазы и объединяют частицы в агломераты (флокулы), способствуя их быстрому осаждению. История применения высокомолекулярных веществ для очистки жидкостей от взвешенных примесей уходит своими корнями в глубокую древность. Так, еще за 2000 лет до н.э. в Индии вытяжки некоторых растений, содержащие природные полимеры, применялись для очистки воды, а в Древней Греции природный полимер – яичный белок использовался для осветления вин. В XVIII–XIX веках природные полимеры – желатина и крахмал стали использовать для очистки фруктовых соков. Несмотря на столь давнюю историю, практическое применение флокуляции в промышленных процессах началось в период между 30-ми и 50-ми годами XX века. Флокулянты использовали для очистки шахтных вод от частиц угля и глины, для выделения и обезвоживания шлаков фосфоритов при получении урановых солей, для интенсификации очистки промышленных сточных вод. Но действительно широкое применение флокулянты получили с середины 50-х годов в связи с необходимостью очистки увеличивающихся объемов сточных вод и модернизации технологических процессов, связанных с разделением твердых и жидких фаз. Когда возросший спрос в флокулянтах не мог больше удовлетворяться природными полимерами, началось внедрение органических искусственных (производных крахмала и целлюлозы) и чаще синтетических полимеров. Среди синтетических полимеров наибольшее распространение и применение получила группа полиакриламидных флокулянтов (ПФ) (табл. 1). В связи с большой практической значимостью ПФ в статье рассмотрены наиболее перспективные пути управления процессом флокуляции и эффективного использования ПФ.

## ОБЩИЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О ДИСПЕРСНЫХ СИСТЕМАХ И ИХ УСТОЙЧИВОСТИ

Дисперсные системы гетерогенны и состоят из двух фаз, одна из которых (дисперсная фаза) раздроблена и распределена в сплошной дисперсионной среде. Дисперсные системы очень многообразны (облака, туманы, природные и сточные воды, мыльная пена, молоко, кровь). Они различаются

**Таблица 1.** Полиакриламидные флокулянты

Название и структура элементарных звеньев	Применение
<b>Неионогенные</b> Полиакриламид $-(\text{CH}_2-\text{CH}-)_n-$ $\text{O}=\text{C}-\text{NH}_2$	Наиболее эффективен при очистке природных и промышленных сточных вод, обезвоживании осадков, интенсификации углекислотного обогащения и в целлюлозно-бумажной промышленности
<b>Анионные</b> Сополимер акриламида с акрилатом натрия $-(\text{CH}_2-\overset{\text{CH}}{\underset{\text{O}=\text{C}-\text{NH}_2}{\text{CH}}-\text{CH}_2-\text{CH}-)_n-$ $\text{O}=\text{C}-\text{O}^- \text{Na}^+$	Наиболее эффективны для обработки положительно заряженных дисперсий, сточных вод, хвостов флотации, при обогащении и регенерации полезных ископаемых, интенсификации нефтедобычи
Сополимер акриламида с 2-акриламидо-2-метилпропансульфонатом натрия $-(\text{CH}_2-\overset{\text{CH}}{\underset{\text{O}=\text{C}-\text{NH}_2}{\text{CH}}-\text{CH}_2-\text{CH}-)_n-$ $\text{O}=\text{C}-\text{R}$ R: $\text{NH}-\text{C}(\text{CH}_3)_2-\text{CH}_2-\text{SO}_3^-\text{Na}^+$	
<b>Катионные</b> Сополимер акриламида с N,N-диэтиламиноэтилметакрилатом ( $R_1$ ) или его четвертичной солью ( $R_2$ ) $-(\text{CH}_2-\overset{\text{CH}}{\underset{\text{O}=\text{C}-\text{NH}_2}{\text{CH}}-\text{CH}_2-\text{CH}-)_n-$ $\text{O}=\text{C}-\text{R}_1 \text{ (или } R_2)$ $R_1: -\text{O}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{N}(\text{C}_2\text{H}_5)_2$ $R_2: -\text{O}-(\text{CH}_2)_3\text{N}^+-(\text{C}_2\text{H}_5)_3\text{Br}^-$	Наиболее эффективны для отрицательно заряженных дисперсий; очистки вод, загрязненных органическими продуктами; для концентрирования и обезвоживания осадков

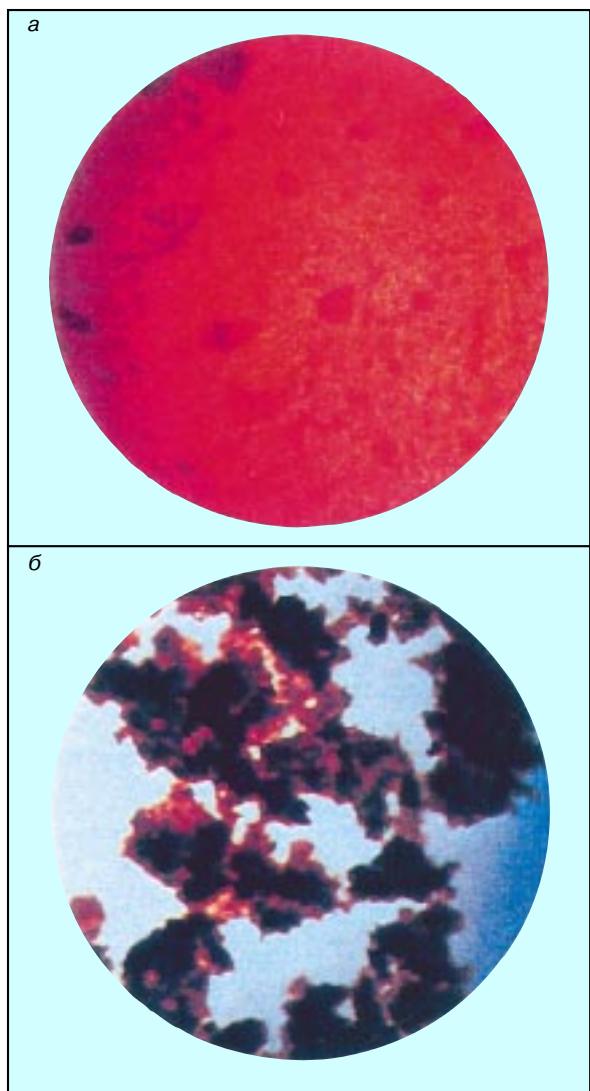
агрегатным состоянием дисперской фазы и дисперсионной среды (твердые, жидкие и газообразные), а также размерами частиц дисперской фазы. Наиболее важными и распространенными являются системы с жидкой дисперсионной средой. К ним относятся природные и сточные воды, а также промышленные суспензии. По кинетическим свойствам они являются свободнодисперсными системами, в которых частицы дисперской фазы могут свободно передвигаться. По размеру частиц дисперсии делят на грубодисперсные ( $> 10^{-3}$  см), микрогетерогенные (от  $10^{-5}$  до  $10^{-3}$  см) и ультрамикрогетерогенные (от  $10^{-7}$  до  $10^{-5}$  см). Последние называются коллоидными системами.

Устойчивость дисперсных систем характеризуется неизменностью во времени равновесного распределения дисперской фазы в объеме среды, которая определяется взаимодействием межмолекулярных сил притяжения и электростатических

сил отталкивания между частицами (теория Дерягина – Ландау – Фервея – Овербека). Дисперсные системы разделяются на лиофильные и лиофобные. Первые характеризуются интенсивным взаимодействием частиц со средой и термодинамической устойчивостью (например, дисперсии мыл, глины и агрегаты высокомолекулярных соединений в воде), а для вторых интенсивность взаимодействия между частицами превышает взаимодействие частиц со средой, что придает термодинамическую неустойчивость системе (например, коллоидные растворы золи сульфидов металлов, суспензии грубодисперсных частиц). Различают седиментационную и агрегативную устойчивость системы. Способность частиц противостоять силе тяжести определяет седиментационную устойчивость, а способность частиц противостоять агрегированию – агрегативную устойчивость. Эти два типа устойчивости взаимосвязаны, и нарушение агрегативной устойчивости снижает седиментационную устойчивость системы, способствуя осаждению частиц. Процесс слипания одинаковых по природе и заряду поверхности частиц с образованием крупных агрегатов называется коагуляцией, а агрегация разнородных частиц, отличающихся природой, знаком или величиной поверхностного заряда, называется гетерокоагуляцией. Для интенсификации процесса агрегации частиц и достижения разделения фаз дисперсной системы применяют коагулянты и флокулянты, а также их смеси.

В качестве коагулянтов используют низкомолекулярные неорганические и органические электролиты. Процесс гетерокоагуляции применяют, например, при очистке природных и промышленных сточных вод [3]. Сущность обработки воды неорганическими коагулянтами, такими, как сернокислый алюминий или хлорное железо, заключается в гидролизе сульфатов и хлоридов с образованием положительно заряженных золей гидроксидов алюминия и железа, которые нейтрализуют отрицательно заряженные коллоидные частицы в воде, что способствует агрегации частиц и вызывает высаджение загрязняющих веществ в осадок. Дополнительное введение флокулянта после коагулянта содействует быстрому формированию крупных хлопьев, повышает плотность коагулята и степень осветления воды (рис. 1).

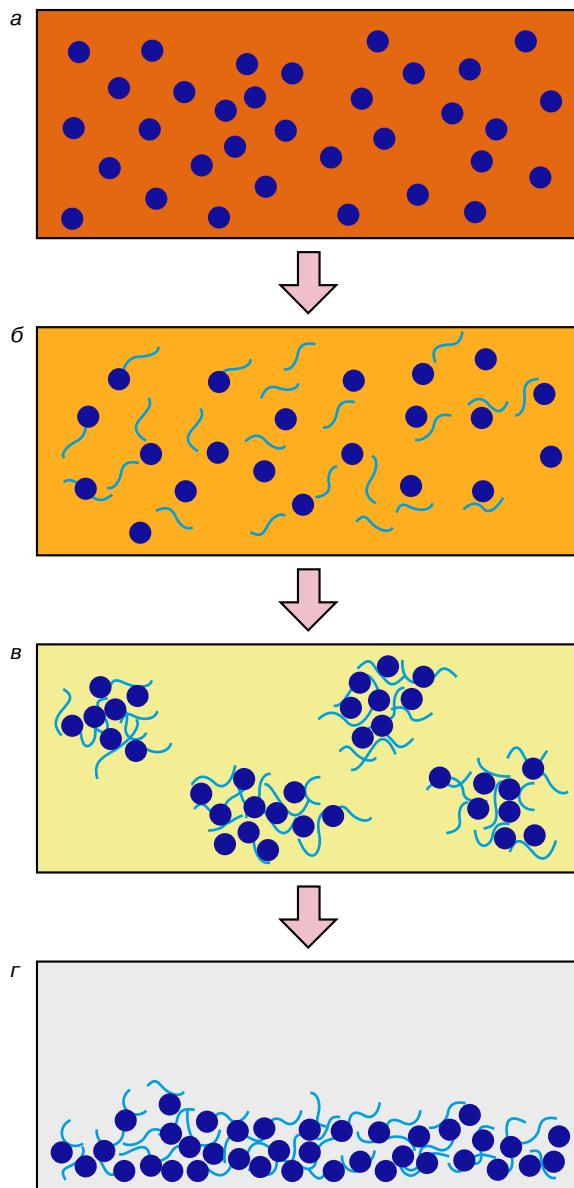
Подобен гетерокоагуляции и процесс флокуляции, происходящий при действии на дисперсные системы высокомолекулярных органических или неорганических соединений. Однако в отличие от компактных коагулятов, возникающих при действии на дисперсии низкомолекулярными электролитами, при флокуляции образуются более крупные и рыхлые агрегаты. Флокуляция является необратимым процессом по сравнению с коагуляцией, когда возможна дезагрегация (пептизация) осадка при уменьшении содержания низкомолекулярного электролита в растворе. Согласно



**Рис. 1.** Обработка окрашенной сточной воды:  
а – после добавления коагулянта, б – после до-  
бавления коагулянта и затем флокулянта

представлениям Ла Мера, макромолекула флокулянта в результате одновременной адсорбции на двух или нескольких частицах дисперсии связывает их в агрегаты полимерными мостиками и снижает устойчивость дисперсной системы. Это мостиочный механизм флокуляции. Принципиальная схема связывания частиц дисперсии макромолекулами флокулянта показана на рис. 2.

В качестве высокомолекулярных водорастворимых флокулянтов используют неорганические полимеры (например, полимерную кремниевую кислоту), природные полимеры (производные целлюлозы, крахмал и его производные) и синтетические органические полимеры (полиэтиленоксид, по-



**Рис. 2.** Принципиальная схема связывания час-  
тиц дисперсии макромолекулами флокулянта: а – до добавления флокулянта, б – после добавления флокулянта, в – перемешивание и агломерация частиц, г – после образования осадка

ливиниловый спирт, поливинилпиридины, ПФ). Из синтетических органических полимеров наиболее часто применяют ПФ. Широкому распространению ПФ способствовало освоение в 1955 году промышленного производства акриламида (АА) в США, а в последующие годы и в других странах, включая Россию. Только в США в 1984 году было произведено 39 тыс.т ПФ, а в 1989 году их производство возросло в 1,4 раза. За тот же период в Японии

производство ПФ возросло в 1,8 раза. Несмотря на значительный рост производства, увеличивающийся спрос на ПФ как по ассортименту, так и по объему производства удовлетворяется недостаточно. Так, в 1983 году только для очистки воды ПФ применяли на более чем 55 водопроводных станциях бывшей РСФСР, было использовано 200 т ПФ, а потребность в них составляла 400–500 т. В настоящее время ПФ применяют для очистки питьевой воды, природных и промышленных сточных вод, разделения, концентрирования и обезвоживания дисперсных систем в угольной, горнодобывающей, нефтяной, химической, целлюлозно-бумажной, текстильной, микробиологической и пищевой промышленности [1]. Согласно прогнозам специалистов, лидирующее положение этой группы флокулянтов с учетом все возрастающего объема производства и применения водорастворимых полимеров сохранится, по крайней мере в обозримом будущем. Это обусловлено их высокой флокулирующей способностью, доступностью, сравнительно низкой стоимостью и малой токсичностью. В немалой степени это связано и с успехами в управлении процессами полимеризации и сополимеризации АА, а также химическими превращениями полиакриламида (ПАА), которые позволили получить неионогенные, анионные и катионные флокулянты (отдельные представители ПФ приведены в табл. 1) с регулируемыми значениями молекулярной массы, химического состава и распределения ионогенных звеньев в макромолекулах [1]. Кроме того, это связано также с результатами исследований закономерностей флокулирующего действия ПФ на модельных и промышленных дисперсных системах [2–4].

Флокулирующая способность ПФ в промышленных дисперсных системах зависит от большого числа факторов, поэтому затруднена оценка влияния отдельных факторов на флокулирующий эффект. По этой причине возникает необходимость определения флокулирующей активности ПФ на модельных дисперсных системах, в качестве которых были использованы каолин и охра. При этом оценка влияния отдельных характеристик системы флокулянт–дисперсия на флокуляцию проводилась при сохранении неизменными других характеристик. За меру флокулирующего эффекта принимали показатель флокуляции  $D$

$$D = (V - V_0) / V_0,$$

где  $V$  и  $V_0$  – соответственно скорости седиментации дисперсии с добавкой флокулянта и без него. Чем больше значение параметра  $D$ , тем выше флокулирующий эффект полимерной добавки. Следует отметить несомненные преимущества использования для оценки флокулирующей способности полимера относительно параметра  $D$  вместо  $V$ , поскольку при этом устраняются эффекты, связанные с несоответствием в показателях частиц дисперсной фазы (рас-

пределение по размерам, степень асимметрии) в различных экспериментальных сериях.

Эффективность флокуляции зависит как от характеристик флокулянта (природа и концентрация полимера, молекулярная масса, химический состав и гидродинамические размеры макромолекул), так и от характеристик дисперсной системы (концентрация дисперсной фазы и состав дисперсионной среды). Влияние различных факторов на флокулирующие показатели ПФ обобщено в работе [1]. Рассмотрим влияние основных характеристик ПФ и дисперсионных систем на процесс флокуляции.

## ВЛИЯНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ ФЛОКУЛЯНТА

В зависимости от величины добавки один и тот же полимер может быть как флокулянтом, так и стабилизатором данной дисперсной системы. В большинстве случаев в присутствии возрастающих добавок полимеров устойчивость дисперсий сначала снижается, а после достижения минимума возрастает. Наблюдаемое (рис. 3) снижение устойчивости системы (нисходящие ветви кривых) с ростом концентрации ПАА является следствием усиления агрегации частиц в результате их связывания макромолекулами и соответствует области флокуляции. При избытке ПАА происходит структурирование и стабилизация агрегативной и седиментационной устойчивости дисперсной системы (восходящие ветви кривых). Обычно дестабилизация системы наблюдается при малых добавках полимера (от тысячных до миллионных долей от массы твердой фазы), что свидетельствует о высокой эффективности флокулянтов.

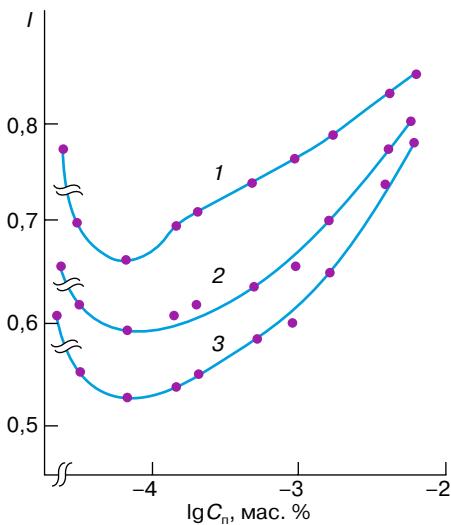


Рис. 3. Влияние концентрации ПАА ( $C_n$ ) на оптическую плотность ( $I$ ) суспензии манганита после осаждения ее за 10 (1), 20 (2) и 30 мин (3)

## ВЛИЯНИЕ МОЛЕКУЛЯРНОЙ МАССЫ И ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО РАЗМЕРА МАКРОМОЛЕКУЛ ФЛОКУЛЯНТА

Одной из наиболее важных характеристик флокулянтов, существенно влияющих на седиментационную устойчивость дисперсных систем, является молекулярная масса (ММ) флокулянта. Значение ММ у ПФ может варьировать в пределах от десятков тысяч до нескольких миллионов. Как правило, с увеличением ММ флокулирующая способность ПФ возрастает, что позволяет снизить дозу полимера. Это обусловлено возможностью больших макромолекул связывать большее число частиц в крупные хлопья посредством полимерных мостиков между частицами. Расчеты показывают, что только двукратное увеличение размеров макромолекул должно вызывать увеличение скорости флокуляции на один-два порядка. Следовательно, флокулирующая способность полимера определяется не столько степенью полимеризации, сколько размерами, занимаемыми макромолекулами в растворенном и адсорбированном состоянии. Рассчитано, что для эффективной флокуляции суспензий протяженность цепочек должна составлять  $10^{-7}$  м, что соответствует характеристической вязкости раствора полимера  $\eta > 500 \text{ см}^3/\text{г}$ . На суспензиях каолина показано, что у привитых сополимеров, основная цепь которых построена из звеньев акриловой кислоты, а боковые цепи состоят из звеньев АА (с равной степенью полимеризации и одинаковыми функциональными группами, а также с идентичными адсорбционными свойствами), флокулирующее действие снижается с уменьшением гидродинамических объемов макромолекул. Установлено, что образцы частично гидролизованного ПАА (ГПАА) с разветвленными макромолекулами значительно уступают по флокулирующей активности образцам с линейными макромолекулами, поскольку имеют меньшие гидродинамические размеры.

На флокулирующую способность ПФ влияет не только ММ, но и молекулярно-массовое распределение полимера. В смесях высоко- и низкомолекулярных фракций ГПАА флокулирующая способность определяется высокомолекулярной фракцией, особенно при малых добавках полимера. Установлено, что эффективная флокуляция наблюдается при определенном соотношении в размерах частиц дисперсии и макромолекул, а при очень большом их различии флокуляция становится невозможной.

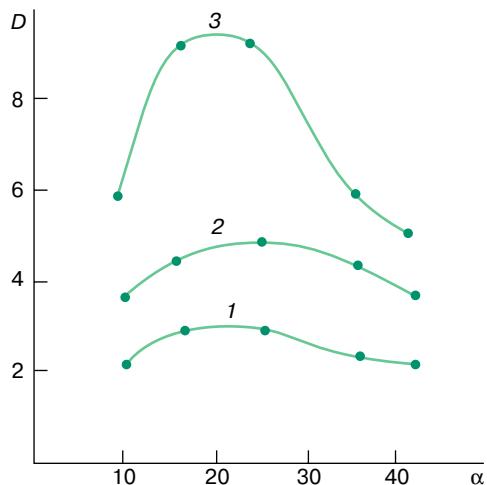
Флокулирующая активность ПФ может уменьшаться в процессе приготовления, хранения и применения их в виде водных растворов. Это обусловлено не только уменьшением ММ вследствие деструкции макромолекул, происходящей в результате химических, физических и микробиологических воздействий, но и увеличением компактности макромолекулярных клубков в результате внутри-

молекулярного перераспределения водородных связей.

## ВЛИЯНИЕ ХИМИЧЕСКОЙ ПРИРОДЫ И СОСТАВА МАКРОМОЛЕКУЛ ФЛОКУЛЯНТА

Помимо неионогенного флокулянта – ПАА успешное применение находят анионные и катионные ПФ [1], которые получают сополимеризацией АА с ионогенными мономерами (кислотами, основаниями и их солями) или полимераналогичными превращениями ПАА и других полимеров [1]. Анионные ПФ разделяются на слабо- и сильноакислотные, а катионные – на слабо- и сильноосновные. Примером слабоакислотного флокулянта являются сополимеры АА с акрилатом натрия, а сильноакислотного – сополимеры АА с 2-акриламидо-2-метилпропансульфонатом натрия (см. табл. 1). Примером слабоосновного флокулянта являются сополимеры АА с N,N-диэтиламиноэтилметакрилатом, а его четвертичные соли – примером сильноосновного флокулянта (см. табл. 1). Степень ионизации ионогенных групп у сополимеров слабых кислот и оснований сильно зависит от pH среды. Так, при увеличении pH возрастает степень нейтрализации щелочью сополимера АА с акриловой кислотой и увеличивается степень диссоциации карбоксильных групп. Накопление одноименных зарядов в цепи усиливает между ними электростатические отталкивания, и в результате увеличения размеров макромолекулярных клубков повышается флокулирующая активность ПФ. При этом наилучшие флокулирующие свойства достигаются при  $\text{pH} > 7$  и 30–40% степени нейтрализации карбоксильных групп. У сополимеров сильных кислот и оснований ионогенные группы ионизованы в широкой области pH, поэтому их флокулирующие свойства мало зависят от pH. Таким образом, в ионизующих средах анионные и катионные ПФ по сравнению с ПАА (при равной степени полимеризации) имеют большие гидродинамические размеры макромолекул и поэтому более эффективны как флокулянты. Сильноакислотные ПФ (сополимеры АА с натриевой солью 2-акриламидо-2-метилпропансульфокислоты) обладают более высокой флокулирующей активностью по сравнению со слабоакислотными ПФ – сополимерами АА с натриевой солью акриловой кислоты.

Влияет на флокуляцию и содержание ионогенных звеньев ( $\alpha$ ) в макромолекулах ПФ. В качестве примера на рис. 4 приведена зависимость флокулирующего эффекта  $D$  от состава сополимера АА с натриевой солью 2-акриламидо-2-метилпропансульфокислоты. Наблюдаемый на рис. 4 экстремальный характер зависимости  $D=f(\alpha)$  становится более рельефным с увеличением концентрации сополимера  $C_n$  (переход от 1 к 3 на рис. 4). Характер зависимости  $D=f(\alpha)$  хорошо согласуется с характером изменения гидродинамических размеров макромолекул от  $\alpha$ , которые возрастают с ростом  $C_n$ . Согласно данным



**Рис. 4.** Влияние содержания ионогенных звеньев ( $\alpha$ ) в составе сополимера AA с натриевой солью 2-акриламидо-2-метилпропансульфокислоты с  $[\eta] = 260 \text{ см}^3/\text{г}$  на показатель флокуляции  $D$  при различных концентрациях флокулянта  $C_n$ .  $C_n \cdot 10^3, \% = 1-0,1; 2-1; 3-2$

рис. 4, наибольшей флокулирующей способностью обладают сополимеры с  $\alpha = 20-25$  мол. %. Подобные данные были установлены и для ГПАА. На различных дисперсиях подтверждено соответствие максимального флокулирующего эффекта ГПАА степени гидролиза (содержание звеньев акрилата натрия) порядка 30%. На флокулирующие свойства ГПАА оказывает также влияние неоднородность макромолекул по составу [1].

#### ВЛИЯНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ ДИСПЕРСНОЙ ФАЗЫ, НИЗКОМОЛЕКУЛЯРНЫХ СОЛЕЙ И ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ В ДИСПЕРСНОЙ СИСТЕМЕ

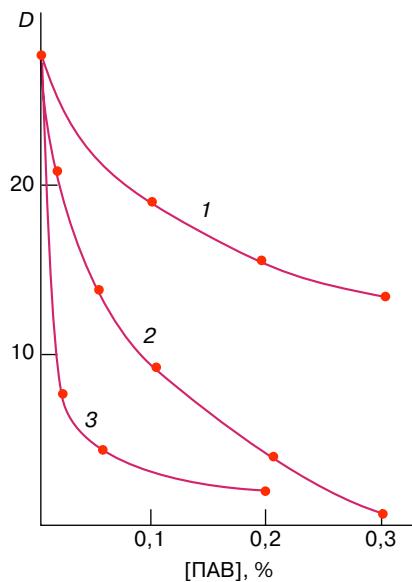
Концентрация твердой фазы ( $C_d$ ) в промышленных дисперсиях может изменяться в широких пределах – от 0,002 до 50 %. На супензиях охры и каолина показано, что с увеличением  $C_d$  в присутствии ГПАА с различной степенью гидролиза наблюдалось снижение скорости седиментации частиц. Ослабление флокулирующей способности ГПАА с ростом  $C_d$  вызвано уменьшением размеров и числа агрегатов из макромолекул и связанных ими частиц дисперской фазы вследствие уменьшения отношения  $C_n/C_d$  (при фиксированной концентрации полимера  $C_n$ ).

Большинство дисперсий являются многокомпонентными системами, которые содержат различные включения, в том числе низкомолекулярные электролиты и поверхностно-активные вещества (ПАВ). Эти включения способны влиять на устойчивость дисперсий, а также на конформационные и адсорбционные свойства макромолекул флокулянтов, что в совокупности отражается на флокулирующей ак-

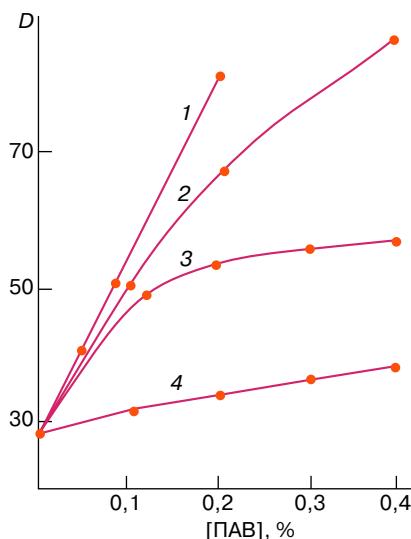
тивности ПФ. Проиллюстрируем влияние солевых добавок и ПАВ на флокулирующее действие ПФ.

На супензиях охры и каолина установлено снижение скорости седиментации частиц в присутствии ГПАА с увеличением концентрации NaCl по причине уменьшения гидродинамических размеров макромолекул ГПАА в результате увеличения степени экранирования карбоксилат-анионов противоионами  $\text{Na}^+$ . Однако обнаруженный эффект отрицательного влияния низкомолекулярных электролитов на флокуляцию под действием ГПАА не является общим правилом для всех полимерсодержащих дисперсных систем [3]. Так, флокулирующая активность ГПАА при концентрировании дрожжей *Candida scotti* и клеток *E. coli* увеличивается при добавлении ионов  $\text{Al}^{3+}$ . Это следствие уменьшения агрегативной устойчивости дисперсии в результате нейтрализации заряда поверхности клеток. Другим примером является введение низкомолекулярных неорганических солей в дисперсию до ПФ при очистке природных и сточных вод с целью снижения устойчивости дисперсий, улучшения адсорбции флокулянта и экономии реагентов [3].

Рассмотрим возможность влияния ПАВ на процесс флокуляции супензий каолина под действием ГПАА. На рис. 5 показано влияние на флокулирующий эффект  $D$  неионогенных ПАВ (ОП-10 и сорбиталь С-20), а на рис. 6 – анионных ПАВ (сульфонол НП-3 и алкилсульфат натрия) при различных способах ввода компонентов в супензию: ГПАА + ПАВ (1-й способ) и ПАВ + ГПАА (2-й способ). Увеличение концентрации неионных ПАВ



**Рис. 5.** Влияние концентрации неионогенных ПАВ на флокулирующий эффект ГПАА в супензии каолина. Сорбиталь С-20 (1, 2); ОП-10 (3). Способ ввода: ГПАА + ПАВ (1), ПАВ + ГПАА (2, 3)



**Рис. 6.** Влияние концентрации анионных ПАВ на флокулирующий эффект ГПАА в суспензии каолина. Сульфонол НП-3 (1, 3), алкилсульфонат натрия (2, 4). Способ ввода: ГПАА + ПАВ (1, 2), ПАВ + ГПАА (3, 4)

ослабляет флокулирующий эффект по причине уменьшения размеров макромолекулярных клубков ГПАА. Из рис. 5 также следует, что значения  $D$  зависят от способа ввода компонентов. Флокулирующий эффект значительнее в случае ввода ГПАА в суспензию, не содержащую ПАВ (1-й способ), когда размеры макромолекулярных клубков больше, чем в присутствии ПАВ (2-й способ). В противоположность влиянию неионных ПАВ увеличение концентрации анионных ПАВ приводит к усилиению флокулирующего действия ГПАА (рис. 6). При первоначальном вводе ГПАА (1-й способ) происходят адсорбция его на каолине и образование агрегатов из частиц, связанных макромолекулярными мостиками. При последующем вводе ПАВ и с увеличением их концентрации происходит укрупнение агрегатов вследствие комплексообразования между молекулами ПАВ и адсорбированными на частицах каолина макромолекулами ГПАА, что ускоряет седиментацию каолина (кривые 1, 2). В случае же первоначального ввода ПАВ (2-й способ) и с увеличением их концентрации усиливается адсорбция анионных ПАВ на поверхности гидратированных частиц каолина за счет образования водородных связей, что снижало возможность адсорбции на каолине макро-

молекул ГПАА. В результате при способе 2 значения  $D$  были ниже, чем в способе 1 (переход от кривых 1, 2 к 3, 4). Рассмотренное влияние порядка ввода флокулянта и ПАВ в суспензию на флокулирующий эффект ГПАА свидетельствует о селективном и необратимом характере адсорбции макромолекул флокулянта на частицах каолина.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Приведенный материал позволит читателю составить общие представления о водорастворимых поликариламидных флокулянтах, широко использующихся для регулирования устойчивости дисперсных систем в различных производственных процессах и для очистки природных и промышленных сточных вод, что способствует решению различных технологических задач и экологической проблемы защиты окружающей среды, и в частности природных водоемов от загрязнений. Показаны наиболее эффективные пути управления процессом флокуляции. Однако использование их при проведении промышленных процессов вызывает необходимость более углубленной оценки закономерностей процесса седиментации полимерсодержащих дисперсных систем. Несомненно и то, что резервы активного воздействия на процесс флокуляции в многокомпонентных системах с целью оптимизации вскрыты далеко не полностью.

## ЛИТЕРАТУРА

- Полиакриламид / Под ред. В.Ф.Куренкова. М.: Химия, 1992. 192 с.
- Небера В.П. Флокуляция минеральных суспензий. М.: Недра, 1983. 288 с.
- Вейцер Ю.И., Минц Д.М. Высокомолекулярные флокулянты в процессах очистки природных и сточных вод. М.: Стройиздат, 1984. 202 с.
- Баран А.А. Полимерсодержащие дисперсные системы. Киев: Наук. думка, 1986. 204 с.

\* \* \*

Валерий Федорович Куренков, доктор химических наук, профессор кафедры технологии пластических масс Казанского государственного технологического университета. Область научных интересов – химия высокомолекулярных соединений. Автор и соавтор более 350 научных трудов, опубликованных в отечественной и зарубежной печати, в том числе 20 обзоров, двух монографий и одного учебного пособия.