

УДК 543.2 : 542.61 : 611.185.1

С.А. Куличенко, В.С. Старова, М.Г. Щербина, В.А. Дорошук

**ФАЗООБРАЗОВАНИЕ В РАСТВОРАХ ДОДЕЦИЛСУЛЬФАТА НАТРИЯ
В ПРИСУТСТВИИ АЛИФАТИЧЕСКИХ И АРОМАТИЧЕСКИХ СПИРТОВ**

Исследовано влияние модифицирующих добавок алифатических, ароматических спиртов и электролитов на формирование фаз из растворов додецилсульфата натрия для концентрирования микрокомпонентов. Показано, что, в противоположность действию электролитов, добавки спиртов уменьшают температуру фазообразования и объем формирующейся мицеллярной фазы. Установлено, что совместное присутствие спиртов и электролитов в растворах ДДСН способствует образованию технологически удобной компактной гелеобразной фазы. Найдены оптимальные концентрационные и температурные условия получения пригодных для целей концентрирования анионно-активных фаз.

Мицеллярная экстракция фазами неионных поверхностно-активных веществ (НПАВ) при температуре помутнения является одним из наиболее интенсивно развивающихся методов концентрирования микрокомпонентов [1—6]. Метод характеризуется достижением высоких абсолютных коэффициентов концентрирования при использовании небольших объемов пробы, эффективностью извлечения и разделения гидрофобных и гидрофильных субстратов, хорошей сочетаемостью с рядом физико-химических методов определения. В последние годы мицеллярная экстракция рассматривается также как “зеленая” альтернатива экстракции органическими растворителями [3—6].

В основе метода лежит явление фазового расслоения в растворах полиоксиэтилированных неионных ПАВ при нагревании и одновременное концентрирование микрокомпонента в образующую мицеллярную фазу. Мицеллярная экстракция фазами НПАВ широко применяется для концентрирования ионов металлов и органических соединений [7—13]. Однако необходимость нагревания системы ограничивает возможности применения фаз НПАВ для концентрирования лабильных субстратов [14]. Частичное преодоление недостатка достигается применением низкотемпературных вариантов мицеллярной экстракции при использовании неионных ПАВ с низкой температурой помутнения [15, 16]. Понижение температуры помутнения в мицеллярных растворах НПАВ также наблюдается при введении модифицирующих добавок электролитов [17—20], длинноцепочечных аминов [21], карбамида [22], фенола [23], ароматических и алифатических спиртов [18—21].

При этом ароматические спирты, особенно фенол, являются наиболее эффективными гидротропами, понижающими температуру фазовых переходов за счет разрушения водородных связей между атомами кислорода полиоксиэтиленовой цепи НПАВ и молекулами воды [23].

Рациональной альтернативой классической мицеллярной экстракции неионными ПАВ выступают низкотемпературные фазовые переходы в растворах ионных поверхностно-активных веществ (ИПАВ). Использование фаз ИПАВ для концентрирования и разделения микрокомпонентов, с нашей точки зрения, может способствовать повышению эффективности метода благодаря сочетанию электростатических и гидрофобных взаимодействий.

Формирование ионных мицеллярных фаз при охлаждении растворов ИПАВ ниже температуры Крафта обусловлено исчезновением мицеллярной составляющей растворимости, а избыток ПАВ формирует кристаллический осадок [24]. Также фазовое расслоение в растворах ионных ПАВ может стимулироваться добавлением электролитов [25, 26], кислот [27, 28], органических растворителей [24] и других добавок. Так, добавки салицилата и тозилата натрия способствуют фазообразованию в растворах катионного ПАВ, повышая температуру фазообразования (T_{FO}) до комнатной [29]. Отмечается существенное влияние добавок карбамида [30], алкилбензолсульфонатов [31], аскорбиновой кислоты [32], гидрохлорида *n*-толуидина [33] и пенициллина [34, 35] на температуру Крафта в растворах ИПАВ.

Из всего многообразия возможных модификаторов обращают на себя внимание алифатичес-

© С.А. Куличенко, В.С. Старова, М.Г. Щербина, В.А. Дорошук, 2009

кие и ароматические спирты, позволяющие проследить влияние природы и гидрофобности гидротропной добавки на параметры фазообразования в растворах ИПАВ. Постановка задачи диктуется необходимостью разработки рекомендаций для получения технологически удобных фаз с заданными параметрами фазообразования и экстракции. В этой связи наиболее значимыми представляются температура фазообразования, объем формирующейся фазы ИПАВ, ее агрегатное состояние, а также соотношение объемов водной и мицеллярной фаз (коэффициент концентрирования).

При создании низкотемпературных фаз пригодных для концентрирования лабильных микрокомпонентов и биоактивных субстратов перспективными являются анионные ПАВ (АПАВ), в частности, получивший наибольшее распространение додецилсульфат натрия (ДДСН). Мицеллярные фазы на основе ДДСН применялись для концентрирования ионов металлов [25, 26] и циклических ароматических углеводов [27, 28]. Применение ДДСН обеспечивает оптимальный компромисс между растворимостью АПАВ, температурой Крафта, значением ККМ и солюбилизационной емкостью формирующихся фаз. При этом электростатические взаимодействия субстрата и фазы являются ключевыми для достижения высокой эффективности извлечения микрокомпонентов.

Поэтому целью работы было изучение закономерностей формирования фаз на основе ДДСН в присутствии модифицирующих добавок спиртов различной природы и гидрофобности, а также оценка возможности применения таких фаз для целей концентрирования.

В работе использовали додецилсульфат натрия фирмы Merck (содержание основного вещества превышало 98.5 %). Рабочие растворы ДДСН готовили растворением соответствующих точных навесок в дистиллированной воде. Также применяли электролиты, фенол, пирокатехин и алифатические спирты общей формулы $C_nH_{2n+1}OH$ с $n=2—16$ (добавки — квалификации ч.д.а). Рабочие растворы готовили растворением точных навесок в 0.1 М растворе ДДСН. Используемые сульфопфталеиновый индикатор бромфеноловый синий (БФС) и основные красители трифенилметанового ряда — метиловый фиолетовый, кристаллический фиолетовый, малахитовый зеленый — были квалификации ч.д.а. Рабочие растворы реагентов получали растворением точных навесок в дистиллированной воде. Спектры поглощения раство-

ров измеряли на спектрофотометрах СФ46 и КФК-3. Кислотность растворов контролировали с помощью рН-метра рН340 со стеклянным электродом ЭСЛ-43-07.

Водные растворы ДДСН, содержащие все необходимые компоненты, помещали в калиброванные мерные цилиндры объемом 10 мл, закрепляли в штативе и погружали в водяную баню. Температуру растворов контролировали с помощью термометров, находящихся в цилиндрах, непосредственно в водяной бане. Со скоростью ~ 1 °С/мин растворы постепенно нагревали до 90 °С и фиксировали температуру растворения фазы ДДСН. После этого растворы постепенно охлаждали (ледяная баня) и при появлении характерной опалесценции измеряли температуру фазообразования. Объем и агрегатное состояние фазы ПАВ фиксировали при температуре, соответствующей T_{FO} для каждой исследованной системы. После полного фазового разделения водную фазу отделяли декантацией. Распределение органических реагентов контролировали спектрофотометрическим методом, измеряя светопоглощение растворов до и после расслоения фаз, а также мицеллярной фазы после ее разбавления.

При охлаждении мицеллярных растворов ДДСН ниже точки Крафта формируется кристаллический осадок. При этом с ростом концентрации ДДСН объем формирующейся фазы практически линейно возрастает. Однако такой осадок, вследствие быстрого растворения при комнатной температуре, не отделяется воспроизводимо от водного раствора. Поэтому формирующаяся из индивидуальных растворов ДДСН фаза мало пригодна для концентрирования микрокомпонентов.

При введении электролитов в растворы ДДСН температура фазообразования увеличивается. Вследствие высаливающего действия с увеличением содержания электролита объем образующейся кристаллической фазы ДДСН также возрастает. При этом формирующаяся в системе ДДСН—NaCl фаза устойчива при комнатной температуре, технологична и легко отделяется от водного раствора центрифугированием. Однако вследствие большого объема фазы ДДСН система не позволяет реализовать предельные возможности мицеллярно-экстракционного концентрирования. Объем мицеллярной фазы косвенно определяет эффективность процесса концентрирования, а соотношение объемов водной и мицеллярной фаз соответствует предельно достигаемому в услови-

ях эксперимента коэффициенту абсолютного концентрирования микропримесей.

Фазовые переходы в двухкомпонентных системах ДДСН—спирт. Введение ароматических и алифатических спиртов в растворы ДДСН способствует уменьшению температуры фазообразования и увеличению растворимости формирующейся кристаллической фазы. Так, увеличение концентрации фенола и пирокатехина приводит к значительному уменьшению температуры фазообразования в растворах ДДСН с 16 до 3—4 °С. Объем формирующегося при охлаждении кристаллического осадка также уменьшается. Добавки спиртов алифатического ряда снижают температуру фазообразования в меньшей степени (приблизительно до 10 °С), а на объем формирующихся кристаллических фаз практически не влияют.

Установлено, что способность алифатических спиртов изменять температуру фазообразования существенно зависит от числа атомов углерода в их углеводородном радикале. При этом с увеличением длины углеводородного радикала алифатических спиртов до $n=9$ и, соответственно, повышением общей гидрофобности добавки, температура фазообразования постепенно уменьшается, а для спиртов с $n>9$ увеличивается (рис. 1, кривая 1). Такой характер зависимости $T_{\text{ФО}}=f(n)$ позволяет условно разделить изученные спирты на две группы, характеризующиеся различной гидрофобностью и имманентной спецификой влияния на параметры фазообразования. Так, в присутствии этанола температура фазообразования составляет 12 °С. Увеличение длины углеводородного радикала спиртов первой условно выделен-

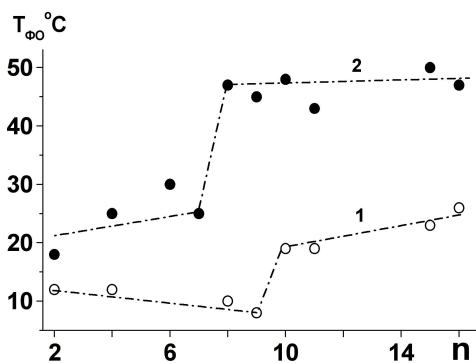


Рис. 1. Зависимость температуры фазообразования в растворах ДДСН от числа атомов углерода в углеводородном радикале алифатических спиртов в отсутствие (1) и в присутствии NaCl (2). $C_{\text{ДДСН}}=0.1 \text{ М}$, $C_{\text{R-ОН}}=0.02 \text{ М}$, $C_{\text{NaCl}}=6 \%$ (2).

ной группы до $n=9$ способствует уменьшению величины $T_{\text{ФО}}$ до 8 °С. Возрастание гидрофобности спиртов второй группы приводит к обратному увеличению температуры фазообразования в растворе ДДСН и в присутствии цетилового спирта ($T_{\text{ФО}}=26 \text{ °С}$).

Однако образующийся при охлаждении двухкомпонентной системы ДДСН—спирт кристаллический осадок при комнатной температуре быстро растворяется, трудно декантируется и, как следствие, малоприменен для целей концентрирования.

Примечательно, что зависимости $T_{\text{ФО}}=f(\text{pH})$ для растворов индивидуального ДДСН и ДДСН—спирт имеют одинаковый характер. Так, в интервале pH 1—11 температура фазообразования постепенно возрастает с 2 до 17 °С. При этом изменение кислотности растворов на природу и объем формирующегося кристаллического осадка практически не влияет.

Таким образом, учет многофакторности условий образования фаз ПАВ в присутствии добавок спиртов позволяет рационально использовать влияние модификаторов на параметры фазообразования в растворах ДДСН с целью получения технологически удобных фаз для концентрирования.

Фазовые переходы в трехкомпонентных системах ДДСН—спирт—NaCl. Совместное присутствие спиртов и электролитов в растворах ДДСН способствует формированию в системе двух типов фаз — кристаллической и гелеобразной. В большинстве случаев добавки хлорида натрия и органических модификаторов влияют на температуру фазообразования в растворах ДДСН неодинаково: гидротропы снижают, а хлорид натрия ее увеличивает. Поэтому, вследствие противоположно направленного и взаимно компенсирующего влияния добавок, фазы в системе ДДСН—NaCl—спирт образуются при температуре ниже температуры фазообразования в системе ДДСН—NaCl и выше соответствующих $T_{\text{ФО}}$ для индивидуальных растворов ДДСН и ДДСН—спирт. При этом, аналогично двухкомпонентным системам, температура фазообразования, агрегатное состояние и объем формирующихся в трехкомпонентных системах фаз определяются природой используемых модификаторов. Так, введение небольших 0.001 М добавок ароматических спиртов в растворы ДДСН в присутствии электролитов приводит к резкому уменьшению температуры фазообразования. При дальнейшем увеличении концентрации спи-

рта величина $T_{\text{Ф0}}$ изменяется мало и близка к комнатной. В системе ДДСН—пирокатехин—NaCl значение $T_{\text{Ф0}}$ составляет 18 °С, а в присутствии фенола — 15 °С (рис. 2, кривые 1, 2). С другой стороны, при увеличении содержания короткоцепочечного бутанола в трехкомпонентных системах

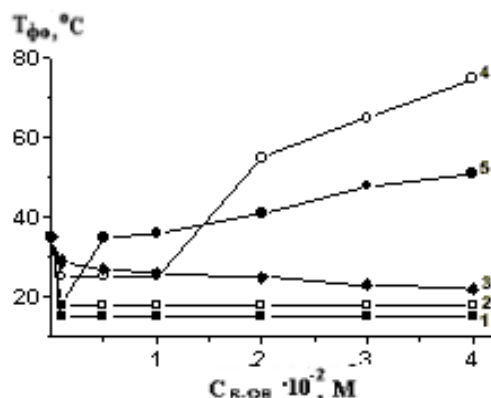


Рис. 2. Зависимость температуры фазообразования от концентрации модифицирующих добавок в системе ДДСН—спирт—NaCl: 1 — фенол; 2 — пирокатехин; 3 — бутанол; 4 — октанол; 5 — деканол. $C_{\text{ДДСН}}=0.1 \text{ М}$; $C_{\text{NaCl}}=6 \%$; $V_0=10 \text{ мл}$.

температура фазообразования постепенно уменьшается (рис. 2, кривая 3). В случае длинноцепочечных алифатических спиртов зависимость $T_{\text{Ф0}}=f(C_{\text{R-ОН}})$ проходит через минимум и при дальнейшем увеличении содержания спирта температура фазообразования постепенно увеличивается (рис. 2, кривые 4, 5).

В отличие от системы ДДСН—спирт в трехкомпонентной системе ДДСН—спирт—NaCl зависимость температуры фазообразования от длины цепи углеводородного радикала алифатических спиртов имеет тенденцию к увеличению (рис. 1, кривая 2). При этом характер зависимости $T_{\text{Ф0}}=f(n)$ для системы ДДСН—спирт—NaCl также позволяет выделить две условные группы модификаторов. В точке перехода от первой группы ко второй при $n=7$ наблюдается скачкообразное увеличение $T_{\text{Ф0}}$. Таким образом, первую группу составляют короткоцепочечные спирты с $n < 7$, монотонно повышающие температуру фазообразования до 30 °С с ростом их гидрофобности. А ко второй группе модификаторов относятся длинноцепочечные спирты с $n > 7$, значительно повышающие величину $T_{\text{Ф0}}$ растворов ДДСН в присутствии электролитов (рис. 1, кривая 2). При этом изменение гидрофобности в пределах группы длин-

ноцепочечных алифатических спиртов на температуру фазообразования практически не влияет.

Установленное в работе разнонаправленное влияние ароматических и алифатических спиртов с различной длиной радикала на параметры фазообразования в системе может свидетельствовать о высокой степени организованности формирующихся фаз ДДСН.

С ростом концентрации ДДСН объем формирующейся в трехкомпонентной системе фазы возрастает, а при увеличении содержания электролита и спиртов — уменьшается (рис. 3). Следует отметить, что в присутствии гидрофильных алифатических и ароматических модификаторов наблюдается образование обильных кристаллических осадков (рис. 3, кривые 1–3). И наоборот, добавки высоко гидрофобных спиртов способствуют образованию компактных гелеобразных фаз. При этом увеличение концентрации длинноцепочечных алифатических спиртов приводит к постепенному изменению агрегатного состояния формирующихся фаз от кристаллического до гелеобразного и, соответственно, к уменьшению их объема (рис. 3, кривые 4, 5). Изменение агрегатного состояния формирующихся в трехкомпонентной системе фаз также подтверждается соответствующим изломом на концентрационных зависимостях $T_{\text{Ф0}}=f(C_{\text{R-ОН}})$ и $V_{\text{МФ}}=f(C_{\text{R-ОН}})$. Так, при концентрации октилового и децилового спиртов более 0.01 М наблюдается изменение агрегатного состояния образующейся в трехкомпонентной системе фазы. Кроме этого, предварительно установлено, что в системах, содержащих ароматические спир-

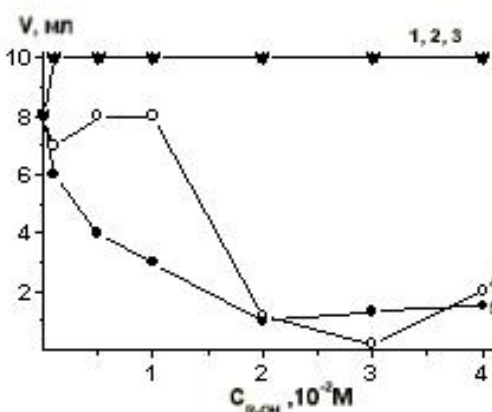


Рис. 3. Зависимость объема формирующейся в трехкомпонентной системе фазы от концентрации модифицирующих добавок спиртов: 1 — фенол; 2 — пирокатехин; 3 — бутанол; 4 — октанол; 5 — деканол. $C_{\text{ДДСН}}=0.1 \text{ М}$; $C_{\text{NaCl}}=6 \%$; $V_0=10 \text{ мл}$.

ты в больших концентрациях, также могут образовываться гелеобразные фазы. Так, при концентрации фенола больше 0.1 М в системе ДДСН—спирт—NaCl формируется компактный гель. Низкотемпературные гелеобразные фазы имеют небольшой объем, устойчивы при комнатной температуре, легко отделяются декантацией и представляются наиболее перспективными для концентрирования микрокомпонентов.

Нами оценена возможность использования полученных фаз в целях концентрирования. Для сопоставления эффективности извлечения органических субстратов кристаллическими и гелеобразными фазами была изучена зависимость степени извлечения бромфенолового синего от концентрации спирта в системе ДДСН—октанола—NaCl. Выбор октанола обусловлен его способностью к образованию как кристаллической, так и гелеобразной фазы в зависимости от содержания спирта в трехкомпонентной системе. При pH 2 в форме моноаниона БФС является удобным модельным субстратом, имеющим ограниченную степень извлечения в анионно-активные фазы, что позволяет проследить влияние природы фазы на эффективность мицеллярно-экстракционного извлечения.

Установлено, что с увеличением содержания октанола степень извлечения БФС монотонно возрастает (рис. 4, кривая 1) и достигает максимального значения ($R=98\%$) при концентрации спирта 0.04 М. При этом зависимость $D=f(C_{\text{РОН}})$ характеризуется двумя линейными участками с разными углами наклона. Так, в интервале концентраций октанола 0.001—0.01 М, соответствующему образованию кристаллической фазы, рассчитанное значение $\text{tg}\alpha$ составляет $3.5 \cdot 10^2$, а в диапазоне 0.01—0.04 М (образование гелеобразной фазы) тангенс угла наклона возрастает до $\sim 5 \cdot 10^4$ (рис. 4, кривая 2). Такой характер зависимости $D=f(C_{\text{R-ОН}})$ неопровержимо свидетельствует о более эффективном извлечении микрокомпонентов в гелеобразную мицеллярную фазу ДДСН по сравнению с кристаллическими осадками.

Следовательно, наиболее пригодной для целей концентрирования является формирующаяся в системе ДДСН—спирт—NaCl гелеобразная фаза, которая обеспечивает оптимальный компромисс между параметрами фазообразования и извлечения. Такие фазы удовлетворяют основному требованию к методам концентрирования — сочетанию высоких коэффициентов концентрирования и степеней извлечения микрокомпонен-

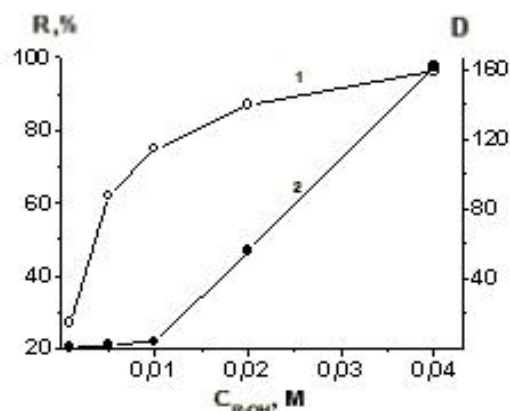


Рис. 4. Зависимость степени извлечения (1) и коэффициента распределения (2) бромфенолового синего от концентрации октанола в системе ДДСН—спирт—NaCl. $C_{\text{R}}=4 \cdot 10^{-5}$ М; $C_{\text{ДДСН}}=0.1$ М; $C_{\text{NaCl}}=6\%$; pH 2; $V_0=10$ мл.

та. С учетом полученных в работе данных наиболее перспективными для целей концентрирования субстратов представляются фазы, формирующиеся в системах ДДСН—фенол—NaCl и ДДСН—дециловый спирт—NaCl.

Фазы ДДСН, благодаря их анионной природе, наиболее рационально использовать для извлечения катионных гидрофобных субстратов. Эффективность систем ДДСН—дециловый спирт—NaCl и ДДСН—фенол—NaCl подтверждена значениями параметров извлечения основных красителей трифенилметанового ряда, моделирующих поведение таких субстратов. Установлено, что образующиеся анионно-активные фазы практически полностью ($R>99\%$) извлекают кристаллический и метиловый фиолетовый из мицеллярных растворов ДДСН. Такие фазы также обеспечивают приемлемые показатели извлечения ($R \approx 96\%$) и наиболее гидрофильного в исследованном ряду малахитового зеленого.

Таким образом, изучено влияние природы и концентрации ароматических и алифатических спиртов на фазообразование в растворах додецилсульфата натрия. Установлено, что способность алифатических спиртов влиять на температуру фазообразования, агрегатное состояние и объем формирующихся фаз существенно зависит от числа атомов углерода в их углеводородном радикале. В зависимости от их гидрофобности и специфики влияния на параметры фазообразования алифатические спирты условно разделяются на две группы. Найдены оптимальные концентрационные и

температурные условия получения технологически удобных низкотемпературных анионно-активных фаз в присутствии спиртов, обеспечивающих достижение высоких коэффициентов абсолютно-го концентрирования в сочетании с эффективным извлечением субстратов. Показана перспективность применения гелеобразных фаз ДДСН—спирт—NaCl для концентрирования гидрофобных органических субстратов катионной природы.

РЕЗЮМЕ. Досліджено вплив модифікуючих добавок аліфатичних та ароматичних спиртів, а також електролітів на формування фаз із розчинів додецилсульфату натрію для концентрування мікрокомпонентів. Показано, що, на відміну від дії електролітів, добавки спиртів зменшують температуру фазоутворення та об'єм утвореної міцелярної фази. Встановлено, що одночасна присутність спиртів та електролітів у розчинах ДДСН сприяє утворенню технологічно зручної компактно-гелеподібної фази. Знайдено оптимальні концентраційні та температурні умови отримання придатних для цілей концентрування аніонно-активних фаз.

SUMMARY. The influence of the aliphatic, aromatic alcohols and electrolytes on the phase formation in the sodium dodecylsulfate solutions was investigated. It was shown, that the electrolytes increase the temperature and the volume of the surfactant-rich phase formed in the SDS system. From the other hand, the additives of the alcohols promote the decrease of the phase formation parameters. It was established, when the electrolytes and alcohols simultaneously present in the SDS solutions the formation of the technologically convenient and compact gellike phases is observed. Optimal concentration and temperature conditions for the obtaining of the SDS phases for the preconcentrating purposes were found.

1. *Quina F.H., Hinze W.L.* // *Ind. Eng. Chem. Res.* -1999. -**38**, № 11. -P. 4150—4168.
2. *Штыков С.Н.* // *Журн. аналит. химии.* -2000. -**55**, № 7. -С. 679—686.
3. *Hinze W.L., Pramauro E.* // *CRC Crit. Rev. Anal. Chem.* -1993. -**24**, № 2. -P. 133—177.
4. *Kulichenko S.A., Doroschuk V.O., Lelyushok S.O.* // *Talanta.* -2003. -**59**, № 4. -P. 767—773.
5. *Garrido M., Di Nesio M.S., Lista A.G. et al.* // *Anal. Chim. Acta.* -2004. -**502**, № 2. -P. 173—177.
6. *Куличенко С.А., Дорощук В.А.* // *Журн. аналит. химии.* -2003. -**58**, № 6. -С. 586—590.
7. *Li J.L., Chen B.H.* // *Chin. J. Chem. Eng.* -2008. -**39**. -P. 337—342.
8. *Sun C., Liu H.* // *Anal. Chim. Acta.* -2008. -**612**. -P. 160—164.

9. *Tavakoli L., Yamini Y., Ebrahimzadeh H. et al.* // *J. Hazard. Mater.* -2008. -**152**, № 2. -P. 737—743.
10. *Aranda P.R., Gil R.A., Moyano S. et al.* // *Talanta.* -2008. -**75**, № 1. -P. 307—311.
11. *Kiran K., Kumar K.S., Prasad B. et al.* // *J. Hazard. Mater.* -2008. -**150**, № 3. -P. 582—586.
12. *Hung K.C., Chen B.H., Yu L.E.* // *Separation and Purification Technology.* -2007. -**57**, № 1. -P. 1—10.
13. *Wang C.C., Luconi M.O., Masi A.N., Fernandez L.* // *Talanta.* -2007. -**72**, № 5. -P. 1779—1785.
14. *Штыков С.Н.* // *Журн. аналит. химии.* -2002. -**57**, № 10. -С. 1018—1028.
15. *Borges D., Silva M., Frescura V. et al.* // *J. Anal. At. Spectrom.* -2003. -**18**. -P. 501—507.
16. *Bingjia Y., Li Y., Qiong H., Akita S.* // *Chin. J. Chem. Eng.* -2007. -**15**, № 4. -P. 468—473.
17. *Dittert I. M., Maranhao A.T., Borges D. L.G. et al.* // *Talanta.* -2007. -**72**. -P. 1786—1790.
18. *Gonzalez G., Nassar E.J., Zaniquelli M.E.D.* // *J. Colloid Interface Sci.* -2000. -**230**, № 2. -P. 223—228.
19. *Hung K.C., Chen B.H.* // *AIChE J.* -2007. -**53**, № 6. -P. 1450—1459.
20. *Duarte L.J.N., Canselier J.P.* // *Tenside, Surfactants, Detergents.* -2005. -**42**, № 5. -P. 299—306.
21. *Khatoon S., Naqvi A.* // *J. Disp. Science and Technology.* -2008. -**29**, № 4. -P. 485—491.
22. *Шенфельд Н.* Поверхностно-активные вещества на основе оксида этилена / Пер. с нем. -М.: Химия, 1982.
23. *Wang Z., Zhao F., Li D.* // *Colloids Surf. A: Physicochem. Eng. Aspects.* -2003. -**216**, № 1—3. -P. 207—214.
24. *Саввин С.Б., Чернова Р.К., Штыков С.Н.* Поверхностно-активные вещества. -М.: Наука, 1991.
25. *Tagashira S., Murakami Y., Yano M. et al.* // *Bull. Chem. Soc. Jpn.* -1998. -**71**. -P. 2137—2140.
26. *Tagashira S., Murakami Y., Otake S. et al.* // *Analytical sciences.* -1998. -**13**. -P. 857—858.
27. *Goryacheva I.Y., Shtykov S.N., Loginov A.S. et al.* // *Anal Bioanal Chem.* -2005. -**382**. -P. 1413—1418.
28. *Sicilia D., Rubio S., Perez-Bendito D. et al.* // *Anal. Chim. Acta.* -1999. -**392**, № 1. -P. 29—38.
29. *Raghavan S.R., Edlund H., Kaler E.W.* // *Langmuir.* -2002. -**18**, № 4. -P. 1056—1064.
30. *Guo R., Zou A.-H., Yang H.-M.* // *Chin. J. Chem.* -2001. -**19**, № 2. -P. 137—142.
31. *Bhat M., Gaikar V.G.* // *Langmuir.* -2000. -**16**, № 4. -P. 1580—1592.
32. *Guo R., Yu W., Zhang X.* // *Acta Phys.-Chim. Sinica.* -2000. -**16**, № 4. -P. 330.
33. *Hassan P.A., Raghavan S.R., Killer E.W.* // *Langmuir.* -2002. -**18**, № 7. -P. 2543—2548.
34. *Guo R., Zhang Q., Qian J., Zou A.* // *Colloids Surf. A: Physicochem. Eng. Aspects.* -2002. -**196**, № 2—3. -P. 223—234.
35. *Qian J.-H., Lu Y.-Y., Guo R.* // *Chin. J. Chem.* -2006. -**24**, № 1. -P. 22—28.