

Рис. 1. Ізотерми сорбції йодиду на AgCl, імпрегнованому в силікагель, (1), силікагелі з прищепленими тетраалкіламонійними групами (2) та елементного йоду на активованому вугіллі (3). T=283 K

УДК 543.2, 542.61, 661.183.1

Імовірно, перспективнішими для виділення йоду у формі йодиду з геотермальних вод будуть силікагелі з прищепленими тетраалкіламонійними групами, зокрема внаслідок того, що їхні йодиди є малорозчинними сполуками.

1. Басков Е.А., Суриков С.Н. Гидротермы Земли. – Л., 1989. 2. Бебешко Г.И., Нестерина Е.М., Бурцева С.И. Учет влияния ионной силы и потенциала жидкостного соединения при ионометрическом определении фторид- и иодид-ионов в водах и рассолах // Заводск. лаборатория. – 2000. – Т. 66. № 12. – С. 8-10. 3. ГОСТ 23268.16-78. Методы определения иодид-ионов. – М., 1985. – С. 92-96. 4. Перес-Бенедито Д., Сильва М. Кинетические методы в аналитической химии. – М., 1991. – С. 70. 5. Шкадаускене О.П., Шкадаускас Ю.С. Кинетическое определение иодида по реакции окисления бензидина хлораном Б // Журн. аналит. химии. – 2001. – Т. 56, № 2. – С. 192-194. 6. Bermejo-Barrera P., Aullo-Sendin R.V., Aboal-Somoza M. et al. Contribution to the development of indirect atomic absorption methods: application of the ion pair 1, 10-phenantroline-mercury(II)-iodide to iodine determination in water and infant formulae samples // Mikrochimica Acta. – 1999. – Vol. 131, № 2. – P. 145-151. 7. Bichsel Y., Von Gunten U. Determination of iodide and iodate by ion chromatography with postcolumn reaction and uv/visible detection // Anal. Chem. – 1999. – Vol. 71, № 1. – P. 34-38. 8. Commission on microchemical techniques and trace analysis. Working Group on Speciation. The determination of iodine species in environmental and biological samples // Pure Appl. Chem. – 1996. – Vol. 70, № 8. – P. 1567-1584.

Надійшло до редколегії 24.05.06

С. Лелюшок, асп.,
С. Куліченко, канд. хім. наук,
В. Дорошук, канд. хім. наук.

ЗАКОНОМІРНОСТІ РОЗПОДІЛУ АЛІФАТИЧНИХ АМІНІВ У МІЦЕЛЯРНО-ЕКСТРАКЦІЙНИХ СИСТЕМАХ ПРИ ТЕМПЕРАТУРІ ПОМУТНІННЯ

Досліджено вплив загальної гідрофобності аліфатичних амінів на їхній розподіл у системі вода – міцелярна фаза неіонної ПАР при температурі помутніння. Показано можливість розділення аліфатичних амінів на групи залежно від їхньої гідрофобності. Прослідковано вплив концентрації субстрату та неіонної ПАР на ефективність міцелярно-екстракційного виділення амінів. Проведено кореляції ефективності вилучення аліфатичних амінів з ліофільними властивостями приймаючої фази. Розраховано вільну енергію пересольватації аліфатичних амінів та їхніх молекулярних фрагментів.

The influence of general hydrophobicity of the aliphatic amines on their distribution between the water and surfactant-rich phases at cloud point temperature was investigated. The possibility of the separation of amines on groups depending on their hydrophobicity was shown. The influence of the substrate and non-ionic surfactant concentration on the efficiency of the micellar-extraction of amines was investigated. The correlations between the efficiency of the extraction of amines and lyophilic properties of the surfactant-rich phase were made. The solvation free energy of the aliphatic amines and their molecular fragments at the interphase transfer was calculated.

Вступ. Одним із методів концентрування та розділення, який інтенсивно розвивається і входить в практику реального аналізу, є міцелярна екстракція (МЕ) мікрокомпонентів фазами неіонних поверхнево-активних речовин (НПАР) при температурі помутніння [1; 12; 15; 16]. Традиційна міцелярна екстракція ґрунтується на фазовому розшаруванні водних розчинів НПАР при нагріванні до певної температури – температури помутніння. Неіонні ПАР розчиняються у воді внаслідок утворення системи водневих зв'язків між атомами кисню поліоксиетиленового ланцюга молекули НПАР і молекулами води. При нагріванні розчинів ці зв'язки руйнуються, у системі відбувається помутніння і наступне фазове розшарування. При цьому утворюються дві фази: сформована великими гідратованими міцелями міцелярна фаза і водний розчин НПАР з концентрацією близькою до критичної концентрації міцелоутворення [17]. Колектором мікрокомпоненту виступає саме міцелярна фаза. Перспективність міцелярно-екстракційного концентрування зумовлена високою селективністю та досягненням значних коефіцієнтів абсолютного концентрування при використанні для аналізу невеликих об'ємів проби, здатністю міцелярної фази НПАР вилучати як гідрофобні, так і гідрофільні сполуки [10]. Крім того, міцелярна екстракція легко поєднується з фізичними та фізико-хімічними методами аналізу, що сприяє її ефективному використанню при створенні гібридних аналітичних методик [2; 10].

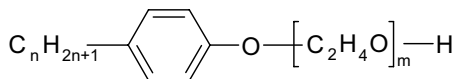
Класичними екстрагентами, які широко використовують у традиційній рідин-рідинній екстракції для виділення кислот, великих органічних і неорганічних аніонів, концентрування та розділення металів є аліфатичні й ароматичні аміни [14]. Аміни також належать до класу найтоксичніших техногенних забруднювачів навколишнього середовища, що характеризуються низькими значеннями ГДК і малим реальним вмістом в об'єктах довкілля. Аналітичний контроль за вмістом амінів у більшості випадків потребує попереднього концентрування проби. Крім цього, похідні органічних амінів є біологічно активними речовинами і широко використовуються у фармації. При визначенні таких амінів у фізіологічних рідинах також часто потрібно проводити попереднє концентрування.

Вплив заряду, гідрофобності та структури субстрату на параметри фазового розшарування в міцелярній екстракції вивчався на прикладі аліфатичних, ароматичних карбонових кислот та амінокарбоксилатних комплексів металів [4–6; 13]. Разом з цим, закономірності міцелярно-екстракційного концентрування амінів не досліджувались. При цьому, застосування аліфатичних амінів у міцелярній екстракції може дозволити розробити нові ефективні методи концентрування інших мікрокомпонентів. Застосування як об'єктів дослідження амінів дозволяє також прослідкувати вплив загальної гідрофобності та природи субстрату основної природи на ефективність міцелярно-екстракційного вилучення. Так, ліофільні властивості аліфатичних амінів змінюються

© Лелюшок С., Куліченко С., Дорошук В., 2007

в широкому інтервалі – від гідрофільних водорозчинних до ліпофільних не розчинних у воді й передаються через довжину їхнього вуглеводневого радикалу. Тому в роботі дослідили закономірності мицелярної екстракції ряду аліфатичних амінів у фазу неіонної ПАР ОП-7 при температурі помутніння.

Реагенти й апаратура. Як основний препарат для проведення мицелярної екстракції в роботі використовували поліоксидетилований алкілфенол ОП-7 із середнім ступенем окетилювання 8–10.



$n=6-7$, $m=8-10$.

Він характеризується доброю розчинністю у воді, низьким значенням критичної концентрації мицелоутворення, значною солубілізаційною ємністю. Вибраний препарат здатний також до більш швидкого, порівняно з іншими неіонними ПАР, формування мицелярних фаз при нагріванні розчинів, компактністю та високою в'язкістю утворюваних фаз НПАР, що дозволяло відокремлювати їх від водного розчину декантацією [11]. Робочі розчини ОП-7 готували розчиненням точної наважки препарату в дистильованій воді. У роботі використали аліфатичні аміни із загальною формулою $C_n H_{2n+1} NH_2$, де $n = 4-12$ "Merck" із вмістом основної речовини 99,0 % (для $n = 5-12$) і 99,5 % (для $n = 4$). Довголанцюгові аміни додатково очищали кип'ятінням зі зворотним холодильником протягом 3 год у присутності гідроксиду калію. Потім переганяли при нормальному тиску з колонкою Вігре.

Вихідні 0,01 М розчини амінів готували розчиненням відповідних точних наважок у 2 %-му водно-мицелярному розчині НПАР. Точну концентрацію розчинів аліфатичних амінів установлювали методом рН-метричного титрування з НСІ. Кислотність розчинів контролювали за допомогою рН-метра "рН-340" зі скляним електродом ЭСЛ-43-07.

Методика експерименту. Розчини ОП-7, в яких були всі необхідні компоненти, поміщали в калібровані мірні циліндри об'ємом 10 мл, закріплювали у штативі й занурювали у водяну баню. Температуру розчинів контролювали за допомогою термометрів, занурених у циліндри та безпосередньо у водяну баню. Нагрівання розчинів проводили зі швидкістю ~ 1 °С/хв. Температуру помутніння реєстрували при появі характерної опалесценції розчинів. Густина мицелярної фази дещо більша за густину води, тому утворювана фаза НПАР збиралась на дні циліндра. Після фазового розшарування водну фазу відокремлювали декантацією.

Розподіл амінів у системі вода – фаза НПАР контролювали рН-метричним титруванням утворюваних після фазового розшарування водної та мицелярної фаз. На основі отриманих даних розраховували ступінь вилучення (R) і коефіцієнт розподілу (D) амінів у мицелярно-екстракційній системі. Розрахунок значень D проводили з урахуванням об'ємів утворюваних фаз [11].

Результати та їх обговорення. У роботі досліджено міжфазовий розподіл аліфатичних амінів між водною та мицелярною фазами НПАР, що формується з 2 %-вих розчинів ОП-7. Установлено, що підвищення загальної гідрофобності амінів підвищує ефективність їхнього мицелярно-екстракційного виділення. Аналогічно до цього, із збільшенням кількості атомів вуглецю у вуглеводневому радикалі субстрату коефіцієнт розподілу також зростає. Так, у випадку бутиламіну, найбільш гідрофільного серед досліджених субстратів, величина

D становить 4, а при екстракції гідрофобного ноніламіну значення D досягає 50.

Притаманна класичним екстракційним системам тенденція збільшення коефіцієнта розподілу амінів із зростанням довжини вуглеводневого радикалу спостерігається також і в мицелярно-екстракційній системі й пояснюється адитивністю енергії сольватації молекулярних фрагментів субстратів. При цьому, для традиційних екстракційних систем за участю органічних розчинників залежність $\lg D=f(n)$ у широкому діапазоні значень n має лінійний характер. На противагу до цього, детальний аналіз залежності $\lg D=f(n)$ для дослідженої мицелярно-екстракційної системи дозволяє виділити дві лінійні ділянки з різними кутами нахилу і, відповідно, розділити аміни на дві умовні групи, рис. 1, а. Примітно, що значення $\lg \alpha$ таких лінійних залежностей відповідає внеску метиленового фрагменту у вуглеводневому радикалі субстрату в коефіцієнт розподілу аміну ($\lg D_{CH_2}$). Так, першу умовно виділену групу складають водорозчинні гідрофільні аміни з $n = 4-7$. При мицелярній екстракції амінів цієї групи значення $\lg D_{CH_2}$ становить 0,25. До другої групи належать гідрофобні аміни з $n = 7-10$, при вилученні яких внесок метиленового фрагменту в коефіцієнти розподілу зменшується і становить $\lg D_{CH_2}=0,09$. Таке співвідношення між величинами $\lg D_{CH_2}$ при мицелярній екстракції гідрофільних і гідрофобних амінів вбачається несподіваним і може пояснюватися зміною характеру процесів сольватації молекулярних фрагментів амінів при збільшенні їхньої гідрофобності.

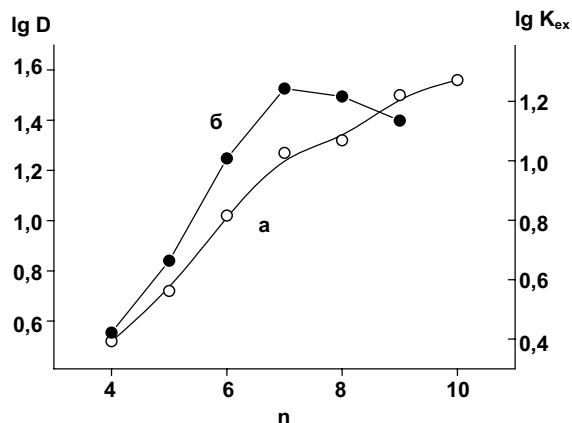


Рис. 1. Залежність коефіцієнта розподілу аліфатичних амінів (а) та їхньої константи екстракції (б) від кількості атомів вуглецю у вуглеводневому радикалі.
 $C_{Am} = 0,005$ М, $V_0 = 10$ мл, $C_{НПАР} = 2$ %

Найбільш гідрофобні довголанцюгові аміни з $n > 10$, на нашу думку, слід віднести до окремої групи гідрофобності. На жаль, в умовах експерименту коректно виміряти коефіцієнти розподілу таких амінів титриметричним методом не вдалося внаслідок їхньої обмеженої розчинності у водно-мицелярних середовищах НПАР.

Доцільність розділення субстратів по групах гідрофобності показано також у ряді робіт, присвячених дослідженню розподілу аліфатичних карбонових кислот у мицелярно-екстракційних та емульсійних системах, кількісній оцінці взаємодій аліфатичних кислотних субстратів з мицелами в розчинах [3; 7; 8].

Концентрація неіонної ПАР у вихідному розчині впливає на параметри фазового розшарування. При цьому утворювані за різних концентраційних умов фази НПАР суттєво відрізняються за своїми ліофільними властивостями. Зміна гідратації мицелярних фаз, у свою

чергу, впливає на характер розподілу субстратів. Тому в роботі дослідили вплив концентрації неіонної ПАР у вихідному розчині на ефективність міцелярно-екстракційного вилучення амінів.

Як модельні субстрати, на прикладі яких вивчали концентраційні залежності параметрів розподілу, використовували гексил- та октиламін. Ці аміни були віднесені до різних умовно виділених груп субстратів: гексиламін представляє більш гідрофільну групу, а октиламін моделює поведінку помірно гідрофобних основ.

Установлено, що ступінь вилучення аліфатичних амінів у міцелярну фазу неіонної ПАР зростає із збільшенням концентрації ПАР у вихідному розчині. Так, при використанні для екстракції 2 %-вих розчинів НПАР гексиламін вилучається у міцелярну фазу на 38 %. При вилученні цього ж аміну з 5 %-вих розчинів ступінь вилучення зростає і становить 58 %. Такий характер залежності $R=f(C_{\text{НПАР}})$ викликаний збільшенням об'єму утвореної при нагріванні міцелярної фази. Однак відмітимо, що навіть із 5 %-вих розчинів НПАР повнота вилучення амінів не досягається. Слід відзначити, що зростання значень R для більш гідрофобного октиламіну в діапазоні концентрацій НПАР 1–5 % менш суттєво порівняно з більш гідрофільним гексиламіном. Так, при переході від 1 до 5 %-вих розчинів ОП-7 ступінь вилучення октиламіну зростає лише на 10 %.

Наступним кроком було вивчення впливу концентрації НПАР на ефективність вилучення амінів при змінному вмісті субстрату. Зокрема, залежність $R=f(C_{\text{НПАР}})$ для гексиламіну було простежено за концентрацій субстрату 0,005, 0,01 та 0,02 М. Установлено, що із збільшенням вмісту аміну ступінь його виділення в міцелярну фазу зростає в усьому дослідженому інтервалі концентрацій НПАР. При цьому в діапазоні концентрацій НПАР 1–3 % зміна значень R є невеликою. При переході до більш концентрованих розчинів НПАР (4–5 %) вплив вмісту аміну в системі стає значнішим. Так, за концентрації гексиламіну 0,005 М ступінь виділення з 4 %-вих розчинів неіонної ПАР становить 41 %. Збільшення концентрації гексиламіну у вихідному розчині до 0,02 М підвищує ступінь вилучення до 56 %. Зростання ефективності виділення амінів при збільшенні їхньої концентрації у вихідному розчині можна пояснити зміщенням рівноваги солубілізації аліфатичних амінів міцелярами неіонної ПАР. Аналогічні залежності отримано й для більш гідрофобного октиламіну.

Одним з найінформативніших параметрів міжфазового розподілу виступає коефіцієнт розподілу субстрату, що передає спорідненість субстрату до приймаючої фази. Отримані в роботі залежності $D=f(C_{\text{НПАР}})$ виявилися більш складними та інформативними.

У роботі показано, що з підвищенням концентрації неіонної ПАР у вихідному розчині коефіцієнт розподілу аліфатичних амінів загалом зменшується (рис. 2). Так, при концентрації аміну 0,005 М коефіцієнт розподілу октиламіну для 1 %-вих розчинів НПАР становить 19. Підвищення вмісту НПАР до 5 % зменшує коефіцієнт розподілу октиламіну приблизно в чотири рази ($D=4,5$). Аналогічні залежності отримано й для більш гідрофільного гексиламіну.

Зміна значень коефіцієнта розподілу субстрату при зміні вмісту НПАР у вихідному розчині може свідчити про зміну природи приймаючої фази, про хімічні взаємодії в міцелярно-екстракційній системі або про зміну форми субстрату. Показано, що за характером зміни коефіцієнта розподілу досліджений інтервал концентрацій ОП-7 можна розділити на два діапазони. Перший діапазон концентрацій НПАР (1–2 %) характеризується

зростанням величини коефіцієнта розподілу, другий – поступовим зменшенням значення D в області концентрацій НПАР 2–5 %.

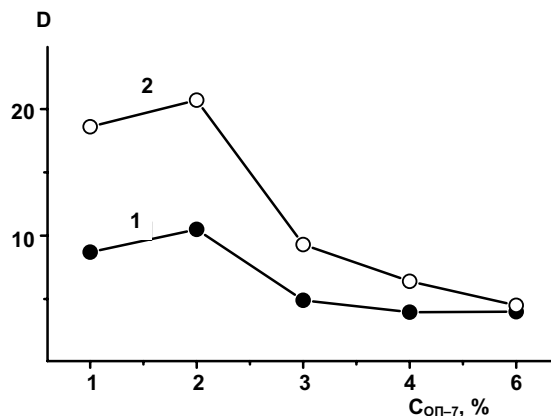


Рис. 2. Залежність коефіцієнта розподілу гексил- (1) та октиламіну (2) від концентрації неіонної ПАР у вихідному розчині. $C_{\text{Ам}}=0,005 \text{ М}$, $V_0=10 \text{ мл}$

Аналіз відповідних диференційних залежностей $dD_{\text{Ам}}/dC_{\text{ОП-7}}=f(C_{\text{НПАР}})$, для яких при $C_{\text{НПАР}}=3 \%$ спостерігається мінімум, підтверджує можливість поділу дослідженого інтервалу концентрацій НПАР на два діапазони. Екстремуми на концентраційних кривих коефіцієнта розподілу амінів, на нашу думку, зумовлені суттєвим впливом природи приймаючої фази на величину коефіцієнта розподілу субстратів. У випадку гексиламіну ці екстремуми спостерігаються для різних концентрацій субстрату, а для октиламіну – тільки при його невеликому вмісті (0,005 М). Так, при збільшенні концентрації субстратів у вихідному розчині до 0,01 М диференційна залежність $D=f(C_{\text{НПАР}})$ характеризується мінімумом тільки для гексиламіну при $C_{\text{НПАР}}=3 \%$.

Властивості субстрату та приймаючої фази впливають на ефективність міжфазового перерозподілу мікрокомпоненту, як у класичній, так і в міцелярній екстракції. Так само інкременти внеску молекулярних фрагментів у коефіцієнт розподілу й вільну енергію міжфазового переходу залежать від властивостей субстрату і приймаючої фази. За умов експерименту, коли змінюється лише концентрація НПАР, коефіцієнт розподілу субстрату залежить переважно від властивостей приймаючої фази і фактично може бути використаний для описання її ліофільних властивостей. При цьому для дослідження гідрофільно-ліофільних властивостей фази краще використовувати помірно гідрофобні аміни й порівняно з більш гідрофобним октиламіном гексиламін є кращим "зондом" ліофільних властивостей фази.

Підвищення вмісту аміну за постійної концентрації НПАР у вихідному приводить до збільшення коефіцієнта розподілу субстрату. Так, при $C_{\text{НПАР}}=2 \%$ підвищення концентрації октиламіну з 0,005 М до 0,02 М збільшує коефіцієнт розподілу приблизно в півтора рази. При цьому підвищення вмісту субстрату приводить до втрати його "зондових" властивостей відносно приймаючої міцелярної фази, що ілюструється зміною характеру залежності $D=f(C_{\text{НПАР}})$. Так, при $C_{\text{ОкАм}}=0,005 \text{ М}$ залежність коефіцієнта розподілу від концентрації ОП-7 проходить через максимум при $C_{\text{НПАР}}=2 \%$. У разі більшого вмісту аміну характер залежності коефіцієнта розподілу субстрату від концентрації НПАР стає монотонним і екстремум не реєструється.

Слід зазначити, що на відміну від аліфатичних амінів, для карбонових кислот характерне зменшення ефективності екстракції при збільшенні їхнього вмісту у вихідному розчині. Явище спостерігається як для класичних екстракційних систем за участю органічних розчинників, так і для мицелярно-екстракційних систем [4; 9]. Зазвичай це пояснюється димеризацією карбонових кислот і суттєвим впливом таких процесів на міжфазовий розподіл.

Збільшення концентрації основи у вихідному розчині приводить до зростання ступеня вилучення аліфатичних амінів у мицелярну фазу. Наприклад, при екстракції з 0,005 М розчину октиламін вилучається в мицелярну фазу на 51 % ($C_{\text{НПАР}}=2\%$). Збільшення концентрації октиламіну у вихідному розчині до 0,02 М підвищує ступінь вилучення субстрату на 10 %.

Аналогічно до цього, з підвищенням концентрації аміну зростає і коефіцієнт розподілу. Так, для 0,005 М розчину октиламіну коефіцієнт розподілу становить 21; з підвищенням вмісту основи до 0,02 М значення D становить 32. При цьому залежності коефіцієнта розподілу субстрату від його вмісту у вихідному розчині близькі до лінійних.

Установлено, що зміна концентрації амінів різних груп гідрофобності по-різному впливає на їхній коефіцієнт розподілу. При цьому вплив концентраційного фактору на значення D із збільшенням гідрофобності субстрату зростає. Аналіз залежностей $D=f(C_{\text{Ам}})$ підтверджує можливість виділення двох груп субстратів. Першу групу складають аміни з $n = 4-7$, для яких значення $\lg \alpha$ обговорюваної залежності невелике. Для гідрофобних амінів з $n = 7-10$ характерний значний вплив концентрації субстрату на ефективність їхнього мицелярно-екстракційного вилучення.

На основі отриманих даних було розраховано вільну енергію пересольватації аліфатичних амінів, а також енергію пересольватації метиленового фрагменту (ΔG_{CH_2}) та аміногрупи (ΔG_{NH_2}) у рамках адитивної моделі екстракції субстратів [9; 11]. Порівняння розрахованої енергії пересольватації метиленового фрагменту та аміногрупи дає змогу оцінити величину внеску молекулярних фрагментів у ефективність міжфазового перерозподілу субстрату.

Вільну енергію пересольватації амінів визначали за формулою $\Delta G_{\text{ex}} = -RT \ln K_{\text{ex}}$, де K_{ex} – константа екстракції субстратів. Константа екстракції розраховувалась екстраполяцією залежності коефіцієнта розподілу субстратів від кількості атомів вуглецю в їхньому вуглеводневому радикалі на вісь ординат.

Залежність $\lg K_{\text{ex}} = f(n)$ в інтервалі $n = 4-7$ лінійно зростає і характеризується коефіцієнтом лінійної кореляції, що дорівнює 0,997 (рис. 1, б). На противагу цьому, у діапазоні $n = 7-9$ значення константи екстракції амінів другої групи гідрофобності приблизно однакові. Сталість значень $\lg K_{\text{ex}}$ гідрофобних амінів, на нашу думку, зумовлена проявом хімічних взаємодій між субстратом і мицелюю НПАР.

Слід зазначити, що залежність вільної енергії пересольватації від довжини вуглеводневого радикала амінів симбатна залежності їхньої константи екстракції від загальної гідрофобності.

Величина ΔG_{ex} у рамках адитивної моделі передається формулою

$$\Delta G_{\text{ex}} = \Delta G_{\Sigma \text{CH}_2} + \Delta G_{\Sigma \text{NH}_2}$$

Для кожної пари амінів за рівнянням

$$\Delta G_{\text{CH}_2} = \frac{\Delta G_{\text{EX}}^1 - \Delta G_{\text{EX}}^2}{\Delta n}$$

розраховували величину $\Delta G_{\Sigma \text{CH}_2}$

і знаходили середнє значення. А за рівнянням $\Delta G_{\text{NH}_2} = \Delta G_{\text{ex}} - n \Delta G_{\text{CH}_2}$ розраховували величину ΔG_{NH_2} .

Для субстратів першої умовно виділеної групи гідрофобності розраховані величини вільної енергії пересольватації молекулярних фрагментів аліфатичних амінів при переході їх у мицелярну фазу склали відповідно $\Delta G_{\text{CH}_2} = -1,57 \pm 0,09$ кДж/моль і $\Delta G_{\text{NH}_2} = 3,96 \pm 0,14$ кДж/моль. Отримані дані та їхнє порівняння з відповідними даними для класичних екстракційних систем за участю органічних розчинників свідчать про високу ефективність гідрофільної та гідрофобної сольватації молекулярних фрагментів субстратів у мицелярно-екстракційних системах. При цьому основну роль у міжфазовому розподілі довголанцюгових амінів відіграють саме гідрофобні взаємодії.

Висновки. Було досліджено основні закономірності міжфазового розподілу аліфатичних амінів у мицелярно-екстракційній системі на основі неіонної ПАР ОП-7. Установлено принципові відмінності екстракційної поведінки амінів у мицелярних середовищах порівняно з екстракцією органічними розчинниками. За характеристиками міжфазового розподілу показано доцільність розгляду трьох окремих груп субстратів залежно від їхньої гідрофобності. Специфічною особливістю розподілу амінів між водною та мицелярною фазами є висока ефективність гідрофобної та гідрофільної сольватації молекулярних фрагментів.

1. Штыков С.Н. Химический анализ в нанореакторах: основные понятия и применение // Журн. аналит. хим. – 2002. – Т. 57, №10. – С. 1018-1028.
2. Саввин С.Б., Чернова Р.К., Штыков С.Н. Поверхностно-активные вещества – М., 1991. – С. 251.
3. Куличенко С.А. Розчинність та протондонорні властивості довголанцюгових карбонових кислот у водно-мицелярних розчинах аніонних та неіонних ПАР // Вісн. Київ. ун-ту. Хімія. – 2000. – № 36. – С. 37-40.
4. Куличенко С.А., Дорошук В.А. Мицелярна екстракція карбонових кислот фазами неіонного ПАВ ОП-10 при нагріванні // Журн. общей хим. – 2003. – 73, № 6. – С. 909-913.
5. Куличенко С.А., Дорошук В.А. Атомно-абсорбционное определение цинка с предварительным мицелярно-экстракционным концентрированием фазами неионных ПАВ // Журн. аналит. хим. – 2003. – 58, № 6. – С. 586-589.
6. Куличенко С.А., Дорошук В.А., Ищенко В.Б. Мицелярно-экстракционное концентрирование свинца фазами неионного ПАВ при температуре помутнения // Химия и технология воды. – 2002. – Т. 24, № 3. – С. 248-256.
7. Куличенко С.А., Шевченко А.М. Дифференцирующее действие эмульсий типа "масло в воде" на протолитические характеристики карбоновых кислот жирного ряда // Журн. аналит. хим. – 2002. – Т. 57, № 1. – С. 80-84.
8. Куличенко С.А., Шевченко А.М. Протондонорные характеристики карбоновых кислот жирного ряда в эмульсиях "масло в воде", стабилизированных катионным ПАВ // Укр. хим. журн. – 2003. – Т. 67, № 2. – С. 99-103.
9. Чариков А.К., Осипов Н.Н. Карбоновые кислоты и карбоксилатные комплексы в химическом анализе – Л., 1991.
10. Brouwer E. R., Hermans A. N. J., Lingeman H., Brinkman U. A. Th. Determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in surface water by column liquid chromatography with fluorescence detection, using on-line micelle-mediated sample preparation // J. Chromatography A. – 1994. – Vol. 669, №1-2. – P. 45-57.
11. Doroschuk V.O., Lelyushok S.O., Rakhilchuk O.O., Kulichenko S.A. Lyophilic properties of surfactant-rich phases of polyethoxylated alkylphenols formed at cloud point temperature // J. Colloid Interface Sci. – 2006. – Vol. 299, № 1. – P. 403-409.
12. Chen J., Khay Chuan Teo. Determination of cadmium, copper, lead and zinc in water samples by flame atomic absorption spectrometry after cloud point extraction // Analytica Chimica Acta. – 2001. – Vol. 450.
13. Kulichenko S.A., Doroschuk V.O., Lelyushok S.O. The cloud point extraction of copper (II) with monocarboxylic acids into non-ionic surfactant phase // Talanta. – 2003. – 59, № 4. – P. 767-773.
14. Matsumoto M., Takahashi T., Fukushima K. Synergistic extraction of lactic acid with alkylamine and tri-n-butylphosphate: effects of amines, diluents and temperature // Separation and Purification Technology. – 2003. – Vol. 33, № 1. – P. 89-93.
15. Saitoh T., Tani H., Kamidate T., Watanabe H. Phase separation in aqueous micellar solutions of nonionic surfactants for protein separation // Trends Anal. Chem. – 1995. – Vol. 14, № 5. – P. 213-217.
16. Tarashira S., Murakami Y., Nishiyama M. Surfactant extraction and determination of ruthenium(III) as a thiocyanato complex // Bull. Chem. Soc. Jpn. – 1996. – № 69.
17. Inoue T., Ohmura H., Murata, D. Cloud point temperature of polyoxyethylene-type nonionic surfactants and their mixtures // J. Colloid Interface Sci. – 2003. – Vol. 258. – P. 374-382.

Надійшла до редколегії 12.02.07