

ISSN 1561-8331 (Print)
ISSN 2524-2342 (Online)

АНАЛІТЫЧНАЯ ХІМІЯ
ANALYTICAL CHEMISTRY

УДК 542.61
<https://doi.org/10.29235/1561-8331-2018-54-2-161-167>

Поступила в редакцию 22.08.2017
Received 22.08.2017

С. М. Лещев¹, А. В. Онищук¹, Е. Б. Окаев¹, В. В. Антончик², С. Ф. Фурс³

¹Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь

²Республиканский центр аналитического контроля в области охраны окружающей среды,
Минск, Беларусь

³Белорусская медицинская академия последипломного образования, Минск, Беларусь

**ЭКСТРАКЦИЯ АРОМАТИЧЕСКИХ УГЛЕВОДОРОДОВ РАЗЛИЧНОГО СТРОЕНИЯ
МЕТАНОЛЬНЫМИ РАСТВОРАМИ БЕНЗОЛСУЛЬФОНАТА
1-МЕТИЛФЕНАНТРОЛИНИЯ**

Аннотация. Изучены экстракционные системы *n*-гептан – раствор бензолсульфоната 1-метилфенантролиния в метиловом спирте. Определены константы распределения ароматических углеводородов, инкременты метиленовой группы в данных системах. Установлено, что данные полярные фазы сильно структурированы и обладают значительной величиной инкремента метиленовой группы. Растворы бензолсульфоната 1-метилфенантролиния в метиловом спирте проявляют высокое сродство к конденсированным ароматическим углеводородам, превосходящее по величине все изученные до настоящего времени экстракционные системы. Экстракция углеводородов с изолированными ароматическими системами метанольным раствором бензолсульфоната 1-метилфенантролиния выражена незначительно, что позволяет производить эффективное разделение конденсированных полиароматических углеводородов и углеводородов с изолированными ароматическими системами. Обнаруженный эффект может быть использован для хроматографического разделения полиароматических углеводородов на модифицированных данными солями неподвижных фазах в жидкостной хроматографии.

Ключевые слова: экстракция, ароматические углеводороды, бензолсульфонат 1-метилфенантролиния, УФ-спектрофотометрия, константа распределения, инкремент метиленовой группы

Для цитирования. Экстракция ароматических углеводородов различного строения метанольными растворами бензолсульфоната 1-метилфенантролиния / С. М. Лещев [и др.] // Вест. Нац. акад. наук Беларусі. Сер. хім. навук. – 2018. – Т. 54, № 2. – С. 161–167. <https://doi.org/10.29235/1561-8331-2018-54-2-161-167>

S. M. Leschev¹, A. V. Anishchuk¹, Y. B. Akayeu¹, V. V. Antonchik², S. F. Furs³

¹Belarusian State University, Minsk, Belarus

²State institution National Center for Analytical Monitoring in the Area of Environmental Protection, Minsk, Belarus

³Belarusian Medical Academy of Postgraduate Education, Minsk, Belarus

**EXTRACTION OF VARIOUS AROMATIC HYDROCARBONS BY METHANOL SOLUTIONS
OF 1-METHYLPHENANTHROLINIUM BENZENESULFONATE**

Abstract. Extraction systems consisting of *n*-heptane and 1-methylphenanthrolium benzenesulfonate methanol solution have been investigated. Distribution constants in systems *n*-heptane – polar phase for aromatic hydrocarbons and the increments of methylene group have been calculated. It has been found that the polar phase is highly structured and has a large increment of the methylene group. It has been also found that solutions of 1-methylphenanthrolium benzenesulfonate in methanol possess high affinity for condensed aromatic hydrocarbons, which value exceeds all the previously studied extraction systems. Extraction of hydrocarbons with isolated aromatic systems by 1-methylphenanthrolium benzenesulfonate methanol solution is negligible. The systems studied can separate condensed polyaromatic hydrocarbons from hydrocarbons with isolated aromatic systems. The effect found may be used for preparing modified state phases in liquid chromatography.

Keywords: extraction, aromatic hydrocarbons, 1-methylphenanthrolium benzenesulfonate, UV-spectrophotometry, distribution constant, increment of the methylene group

For citation. Leschev S. M., Anishchuk A. V., Akayeu Y. B., Antonchik V. V., Furs S. F. Extraction of various aromatic hydrocarbons by methanol solutions of 1-methylphenanthrolium benzenesulfonate. *Vesti Natsyyanal'nai akademii nauk Belarusi. Seriya khimichnykh nauk=Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Chemical series*, 2018, vol. 54, no. 2, pp. 161–167 (In Russian). <https://doi.org/10.29235/1561-8331-2018-54-2-161-167>

Введение. Полициклические ароматические углеводороды (ПАУ) – обширный класс органических соединений, для большинства представителей которого характерно проявление мутагенных, канцерогенных и тератогенных свойств при воздействии на живые организмы. Токсическое действие данных соединений усугубляется их длительной стабильностью в окружающей среде [1, 2]. Таким образом, в настоящее время весьма актуальна проблема контроля негативного воздействия ПАУ на человека в связи с увеличением их поступления из техногенных источников в окружающую среду в результате процессов термической обработки органического сырья. Так как преимущественными путями поступления ПАУ в организм человека являются пища и вдыхаемый воздух, возникает необходимость контроля над содержанием ПАУ в различных объектах: воздухе, воде, продуктах питания, почве.

Традиционным способом выделения ароматических углеводородов из различных объектов, а также разделения ароматических и алифатических углеводородов является жидкостная экстракция. В качестве экстрагентов применяются полярные органические растворители и их бинарные смеси с водой. На основании исследования большого количества экстракционных систем установлено, что наиболее селективны и эффективны по отношению к экстракции ПАУ – диметилсульфоксид (ДМСО) и диметилформамид (ДМФА) [3]. Несмотря на высокую эффективность и селективность, использование данных растворителей для экстракции ароматических углеводородов не позволяет добиться высокой дифференцирующей способности по отношению к ПАУ различного строения [4, 5]. Еще одним существенным недостатком использования ДМСО и ДМФА является их токсичность и относительно малая стабильность, а также сложность регенерации полярной фазы экстракционной системы и ее повторного использования.

В преодолении вышеуказанных недостатков немалый вклад внесли принципы «зеленой химии», использующей в качестве новых экстрагентов ионные жидкости. Однако использование ионных жидкостей в качестве экстрагентов ограничено их дороговизной и сравнительно низкой степенью извлечения ПАУ [6–9].

В данной работе продолжено исследование растворов четвертичных аммонийных солей в метиловом спирте как высокоселективных экстрагентов ароматических углеводородов. В предыдущих работах [10] обнаружены рекордно высокие степени извлечения конденсированных ароматических углеводородов (КАУ) метанольными растворами бензолсульфоната 1-метилхинолиния ($\text{MQuin}^+\text{BS}^-$) из *n*-гептана. Поэтому актуален поиск еще более эффективных экстрагентов КАУ. В настоящем сообщении приводятся результаты, полученные при использовании ранее неисследованной соли – бензолсульфоната 1-метилфенантролиния ($\text{MPhen}^+\text{BS}^-$).

Растворы четвертичных аммонийных солей в метиловом спирте обладают сходными с ионными жидкостями свойствами, но выгодно отличаются простотой регенерации и пониженной вязкостью по сравнению с ними. Значимым достоинством солевых растворов является возможность управления экстракционным процессом путем варьирования природы четвертичной аммониевой соли и ее концентрации в растворе. Между тем, закономерности экстракции ароматических углеводородов в данных системах на настоящий момент малоизучены.

Материалы и методы. В системах *n*-гептан – раствор бензолсульфоната 1-метилфенантролиния в метиловом спирте определены константы распределения 21 ПАУ при температуре 293 ± 1 К. Для поддержания постоянной температуры использовался водяной термостат ELM1 TW-2.

Бензолсульфонат 1-метилфенантролиния получен путем алкилирования *o*-фенантролина метиловым эфиром бензолсульфокислоты, согласно методике, приведенной в работе [11]. Полученный продукт очищали от примесей обработкой водного раствора соли активированным углем. После фильтрации очищенный раствор обезвожен испарением при комнатной температуре с дальнейшей сушкой в эксикаторе над серной кислотой. Выход очищенного продукта составил 76 %, его спектральные характеристики (ЯМР ^1H) соответствовали приведенным в работе [11].

Константу распределения ароматических углеводородов определяли спектрофотометрически [4] при помощи спектрофлуориметра Solar CM 2203. Для ее определения готовили насыщенный раствор ПАУ в *n*-гептане, в зависимости от природы вещества концентрацию ПАУ варьировали в диапазоне 10^{-3} – $5 \cdot 10^{-1}$ моль/л. Гептановый раствор ПАУ экстрагировали солевым раствором,

в результате чего концентрация углеводорода в фазе *n*-гептана уменьшалась. Концентрацию ароматического углеводорода в неполярной фазе измеряли спектрофотометрически до ($A_{исх}$) и после ($A_{гепт}$) проведения экстракции, затем по убыли оптической плотности рассчитывали константу распределения ПАУ. При расчете константы распределения учитывали эффект взаимной растворимости компонентов фаз:

$$P = \frac{A_{гепт}V_{пол}}{A_{исх}V_{гепт_{исх}} - A_{гепт}V_{гепт}},$$

где $V_{пол}$, $V_{гепт}$ – равновесные объемы полярной и углеводородной фаз соответственно, $V_{гепт_{исх}}$ – исходный объем углеводородной фазы.

Для определения констант распределения использовали также многокомпонентный стандартный раствор ПАУ в ацетонитриле, производства компании Supelco, который переводился в *n*-гептан путем упаривания и растворения для последующей экстракции растворами органических солей. Методика определения констант распределения ПАУ подробно описана в работе [6].

Соотношение фаз экстракционных систем выбирали таким образом, чтобы в солевой раствор переходило не менее 50 % распределяемого вещества и составляло 10–1 : 1. Время достижения экстракционного равновесия – 10–15 мин. Погрешности результатов в величинах констант распределения не превышали ± 10 %. В исследуемых экстракционных системах отсутствуют концентрационные зависимости констант распределения ПАУ, так как растворы ароматических углеводородов в фазах систем являются практически идеальными [4].

Для качественной интерпретации полученных результатов были использованы величины инкрементов метиленовой группы, универсальной характеристики прочности пространственной структуры раствора [12]. Величины I_{CH_2} определяли по растворимости *n*-гептана в солевом растворе. Методика расчета I_{CH_2} из данных по растворимости описана в работе [13].

Результаты и их обсуждение. Поскольку экстрагирующая способность полярных жидкостей по отношению к гидрофобным соединениям зависит от их сольвофобного эффекта, который может быть оценен с помощью универсального критерия – величины инкремента метиленовой группы, рассмотрим значения величин I_{CH_2} для исследованных систем (табл. 1). Общей закономерностью для всех исследованных солевых растворов в метиловом спирте является рост структурированности полярной фазы с увеличением концентрации соли, при этом величина I_{CH_2} сравнительно мало зависит от концентрации соли. Данное явление обусловлено процессами координирования молекул растворителя ионами и ионными ассоциатами соли. Стоит отметить, что все исследованные системы имеют близкие значения I_{CH_2} , которые сопоставимы с величинами инкремента метиленовой группы для традиционно используемых растворителей – ДМФА и ДМСО.

Экстрагирующая способность метанольных растворов солей по отношению к ПАУ изучалась на примере антрацена. Было установлено, что с ростом концентрации соли в полярной фазе происходит падение констант распределения антрацена в изученных системах, что может быть объяснено процессами π -комплексобразования антрацена с катионом соли. Следует отметить, что в исследованных системах имеет место эффект выталкивания гидрофобных ароматических углеводородов полярной фазой, который противоположен по своему действию сольватационным взаимодействиям. Наличие двух противоположно направленных эффектов приводит к появлению незначительных экстремумов в зависимостях величин констант распределения от концентрации соли в полярной фазе. Эффективность экстрагирования антрацена солевыми растворами возрастает при увеличении числа π -электронов в катионе соли, а изученные соли по экстрагирующей способности можно расположить в следующий ряд: имидазолий < пиридиний < хинолиний < *o*-фенантролиний.

Для экстракционных систем *n*-гептан – раствор бензолсульфоната 1-метилфенантролиния в метиловом спирте получены рекордно низкие константы распределения конденсированных ароматических углеводородов. Экстрагирующая способность данной экстракционной системы по отношению к ПАУ превосходит по величине все изученные до настоящего времени системы.

Таблица 1. Величины инкремента метиленовой группы (I_{CH_2}) и констант распределения антрацена (P) в экстракционных системах *n*-гептан–полярная фазаTable 1. Increment of the methylene group (I_{CH_2}) and anthracene distribution constant values in *n*-heptane–polar phase extraction systems

Полярная фаза	Концентрация вещества в полярной фазе, М	I_{CH_2}	$P_{\text{антрацен}}$
ДМФА	–	0,12	0,18
ДМСО	–	0,20	0,40
Метилловый спирт (МС)	–	0,08	2,1
Хлорид 1-бутил-3-метилимидазолия в МС	1,0	0,12	0,83
	3,0	0,17	0,43
	5,0	0,21	0,48
Бензолсульфонат 1-метилпиридиния в МС	0,5	0,11	0,89
	1,5	0,15	0,65
	2,5	0,20	0,54
Бензолсульфонат 1-метилхинолиния в МС	0,5	0,12	0,53
	1,5	0,17	0,32
	2,5	0,21	0,27
Бензолсульфонат 1-метилфенантролиния в МС	0,5	0,13	0,27
	1,0	0,16	0,19
	1,5	0,17	0,11

Следует отметить тот факт, что высокое сродство к ПАУ проявляют метанольные растворы четвертичных аммониевых солей, содержащие ароматический катион, а для солей с ароматическим анионом и алифатическим катионом эффект сродства к ароматическим углеводородам не выявлен, что обусловлено отсутствием специфических взаимодействий между ПАУ и алифатическими катионами либо ароматическими анионами [10].

В экстракционных системах *n*-гептан – раствор бензолсульфоната 1-метилфенантролиния в метиловом спирте даже небольшие количества соли вызывают значительное падение констант распределения аренов. При этом наиболее резко падают константы распределения полициклических аренов (табл. 2, 3). Изученные системы при высоких концентрациях соли в полярной фазе схожи по своим свойствам с селективными растворителями, традиционно используемыми для экстракции ПАУ, поскольку характеризуются «обращенным рядом экстрагируемости» для ароматических углеводородов: чем больше ароматических колец в молекуле, тем меньше величина константы распределения.

Таблица 2. Величины констант распределения ПАУ в системах *n*-гептан–полярная фазаTable 2. PAH distribution constant values values in the *n*-heptane–polar phase systems

Вещество	Полярная фаза						
	МС*	MPhen ⁺ BS ⁻ в МС			MQuin ⁺ BS ⁻ в МС; 2,5М	ДМФА*	ДМСО*
		0,5М	1,0М	1,5М			
Бензол	1,2	1,2	1,1	1,3	1,6	0,62	0,97
Нафталин	1,2	0,73	0,58	0,60	0,76	0,29	0,50
Азулен	0,74	0,75	0,48	0,39	0,35	–	–
Антрацен	2,1	0,27	0,19	0,11	0,27	0,18	0,40
Тетрацен	2,3	0,093	0,032	0,040	0,04	0,13	0,33
Дифенил	1,3	1,0	0,92	0,79	1,1	0,32	0,59
П-терфенил	1,9	0,86	0,49	0,37	0,64	0,14	0,47
α,α' -динафтил	3,1	1,3	1,0	1,2	0,97	0,10	0,40
Перилен	1,4	0,022	0,010	0,006	0,03	0,05	0,11
Рубрен	4,7	0,091	0,089	0,078	0,05	0,17	0,90
Хризен	1,1	0,15	0,10	0,071	0,13	0,061	0,11
9,10-бис(2-фенилэтинил)антрацен	2,0	0,14	0,11	0,070	0,26	–	–

* Данные взяты из работ [4, 5].

Таблица 3. Величины констант распределения ПАУ в системах *n*-гептан–полярная фазаTable 3. PAH distribution constant values values in the *n*-heptane–polar phase systems

Вещество	Полярная фаза						
	МС*	MPhen ⁺ BS ⁻ в МС			MQuin ⁺ BS ⁻ в МС; 2,5М	ДМФА**	ДМСО**
		0,5М	1,0М	1,5М			
Флуорантен	–	0,44	0,075	0,062	0,15	0,18	0,29
Пирен	1,1	0,59	0,073	0,060	0,13	0,11	0,27
Бензо(а)антрацен	1,4	0,41	0,053	0,047	0,13	0,09	0,18
Бензо(б)флуорантен	–	0,14	0,018	0,016	0,06	0,09	0,16
Бензо(к)флуорантен	–	0,39	0,035	0,032	0,08	0,10	0,19
Бензо(а)пирен	–	0,12	0,016	0,015	0,05	0,08	0,10
Дибензо(а,һ)антрацен	–	0,18	0,016	0,016	0,06	0,10	0,11
Бензо(ghi)перилена	–	0,024	0,003	0,003	0,02	0,10	0,15
Индено(1,2,3-сd) пирен	–	0,058	0,008	0,007	0,04	0,08	0,14

* Данные работ [4, 5]. **Данные работы [6].

Заслуживает внимания факт относительно низкой эффективности извлечения бензола солевым раствором. Эффективность экстракции таких ароматических углеводородов, как дифенил, *n*-терфенил, α, α' -динафтил, содержащих изолированные ароматические системы, также сравнительно невысока. Данное явление может быть объяснено наличием стерических затруднений для π -комплексообразования у углеводородов, содержащих ароматические системы, соединенные σ -связью в связи с их неплоским пространственным строением.

В свою очередь «сильноконденсированные» ПАУ с плоским строением селективно извлекаются метанольными растворами бензолсульфоната 1-метилфенантролина. Стоит отметить не только высокую эффективность, но и большую селективность изученных систем по отношению к КАУ: константы распределения рубрена и перилена различаются в 15, хризена и перилена в 10, тетрацена и перилена в 7 раз, а для экстракционных систем с ДМФА различие в константах распределения данных ПАУ минимально.

С увеличением числа ароматических колец в КАУ растет различие в константах распределения ПАУ в исследуемой системе и традиционно используемых. Константа распределения бензо(ghi)перилена в 30 раз ниже в системе *n*-гептан–раствор бензолсульфоната 1-метилфенантролина в метиловом спирте, чем в системе *n*-гептан–ДМФА.

Было найдено, что данные системы могут быть эффективны при разделении ПАУ «изомерного строения», например перилена и α, α' -динафтила. Константа распределения перилена имеет рекордно низкое значение, а константа распределения его изомера α, α' -динафтила не подвергается существенному изменению с ростом концентрации соли. Различие в константах распределения данной пары ПАУ составляет от 60 до 200 раз в зависимости от концентрации соли, в то время как для ДМФА и ДМСО оно не превышает 2 и 4 раз соответственно.

Таким образом, увеличение концентрации бензолсульфоната 1-метилфенантролина в метиловом спирте приводит к существенному увеличению разделяющей способности данной экстракционной системы по отношению к алифатическим и ароматическим углеводородам, а также к ароматическим углеводородам различного строения. Видно, что с ростом концентрации соли в полярной фазе константы распределения конденсированных ПАУ претерпевают рекордное снижение, а константы распределения для ПАУ с изолированными бензольными кольцами практически не снижаются или очень мало падают с ростом концентрации соли. Это открывает возможность как эффективного отделения КАУ от производных бензола, так и разделения сложных смесей КАУ.

Одним из немаловажных достоинств растворов четвертичных аммониевых солей в метиловом спирте в качестве экстрагентов является простота регенерации полярной фазы экстракционной системы, обусловленная малой взаимной растворимостью компонентов фаз. Невысокая растворимость соли (10^{-3} – 10^{-4} М) и метилового спирта (10^{-1} – 10^{-3} М) в алифатических углеводородах

позволяет максимально эффективно использовать как экстрагент, так и растворитель. Регенерация полярной фазы может быть проведена путем отгонки метилового спирта. В дальнейшем твердый остаток соли и ПАУ обрабатывается водой для выделения ПАУ в собственную фазу, которую легко можно отделить от раствора соли.

Заключение. На данный момент использование изученных солей для выделения ПАУ в промышленных масштабах является не рациональным ввиду их достаточно высокой стоимости. Однако данные соли могут быть использованы для быстрой и эффективной пробоподготовки объектов, содержащих сложные смеси ароматических углеводородов различного строения. Известно, что пробоподготовка таких объектов обычно осуществляется методом тонкослойной хроматографии и длится до нескольких суток. Обнаруженный эффект дифференцирования экстракции ПАУ различного строения может быть использован для хроматографического разделения ПАУ на модифицированных данными солями неподвижных фазах в жидкостной хроматографии.

Следует отметить, что современные темпы роста производства ионных жидкостей приводят к снижению стоимости производства соединений данного класса, что в перспективе может сделать применение исследованных экстракционных систем экономически целесообразным.

Список использованных источников

1. Mrozik, A. Bacterial degradation and bioremediation of polycyclic aromatic hydrocarbons / A. Mrozik, Z. Piotrowska-Seget, S. Labuzek // *Polish Journal of Environmental Studies*. – 2003. – Vol. 12, № 1. – P. 15–25.
2. Хаустов, А. П. Химические маркеры на основе соотношений концентраций полициклических ароматических углеводородов в компонентах окружающей среды / А. П. Хаустов, М. М. Редина // *Вода: химия и экология*. – 2014. – № 12. – С. 98–107.
3. Сольвофобные эффекты в жидкостях различной природы и их влияние на экстракцию и растворимость полициклических ароматических углеводородов / С. М. Лещев [и др.] // *Журн. физ. химии*. – 2001. – Т. 75, № 10. – С. 1802–1807.
4. Лещев, С. М. Экстракция ароматических углеводородов, содержащих от двух до четырех бензольных колец, полярными органическими растворителями / С. М. Лещев, А. В. Синицина // *Нефтехимия*. – 1997. – Т. 37, № 1. – С. 56–61.
5. Лещев, С. М. Экстракция конденсированных ароматических углеводородов полярными органическими растворителями / С. М. Лещев, А. В. Синицина // *Нефтехимия*. – 1997. – Т. 37, № 6. – С. 552–556.
6. Экстракция полициклических ароматических углеводородов полярными органическими растворителями и ионными жидкостями / С. М. Лещев [и др.] // *Вест. Нац. акад. наук Беларусі. Сер. хім. навук*. – 2013. – № 3. – С. 45–49.
7. Асланов, Л. А. Ионные жидкости в ряду растворителей / Л. А. Асланов, М. А. Захаров, Н. Л. Абрамычева. – М.: Изд-во МГУ, 2005. – 272 с.
8. Применение ионных жидкостей в экстракции / И. В. Плетенев [и др.] // *Журн. Рос. хим. об-ва им. Д. И. Менделеева*. – 2004. – Т. XLVIII, № 6. – С. 51–58.
9. Dandan Han. Recent applications of ionic liquids in separation technology / Dandan Han, Kuynng Ho Row // *Molecules*. – 2010. – Vol. 15. – P. 2405–2426. DOI: 10.3390/molecules15042405
10. Экстракция полиароматических углеводородов метанольными растворами органических солей / С. М. Лещев [и др.] // *Вест. Нац. акад. наук Беларусі. Сер. хім. навук*. – 2015. – № 2. – С. 25–29.
11. Krapcho, A. P. Improved synthesis of 2-chloro and 2,9-dichloro-1,10-phenanthrolines / A. P. Krapcho, J. B. Lanza // *Org. Prep. And Proc. Int.* – 2007. – Vol. 39, Iss. 6. – P. 603–620. DOI: 10.1080/00304940709458644
12. Лещев С. М. О количественном критерии прочности пространственной структуры растворителей / С. М. Лещев, Е. М. Рахманько // *Журн. структ. химии*. – 1990. – Т. 31, № 6. – С. 136–138.
13. Лещев, С. М. Сравнительная оценка эффективностей структурообразования и дисперсионных взаимодействий в органических растворителях различной природы и полярности / С. М. Лещев, Н. П. Новик // *Журн. структ. химии*. – 1999. – Т. 40, № 3. – С. 514–519.

References

1. Mrozik A., Piotrowska-Seget Z., Labuzek S. Bacterial degradation and bioremediation of polycyclic aromatic hydrocarbons. *Polish Journal of Environmental Studies*, 2003, vol. 12, no. 1, 15–25.
2. Haustov A. P., Redina M. M. Chemical markers based on the ratio of concentrations of polycyclic aromatic hydrocarbons in environmental components. *Voda: himiya i ekologiya = Water: chemistry and ecology*, 2014, no. 12, pp. 98–107 (in Russian).
3. Leschev S. M., Novik N. P., Anishchuk V. I., Sin'kevich A. V. Solvophobic effects in various liquids and their influence on extraction and solubility of polycyclic aromatic hydrocarbons. *Zhurnal fizicheskoi khimii = Russian Journal of Physical Chemistry A*, 2001, vol. 75, no. 10, pp. 1802–1807 (in Russian).

4. Leschev S. M., Sinitsina A. V. Extraction of aromatic hydrocarbons containing two to four benzene rings by polar organic solvents. *Neftehimiya = Petroleum Chemistry*, 1997, vol. 37, no. 1, pp. 56–61 (in Russian).
5. Leschev S. M., Sinitsina A. V. Extraction of condensed aromatic hydrocarbons by polar organic solvents. *Neftehimiya = Petroleum Chemistry*, 1997, vol. 37, no. 6, pp. 552–556 (in Russian).
6. Leschev S. M., Antonchik V. V., Akayeu Y. B., Furs S. F. Extraction of polycyclic aromatic hydrocarbons by polar organic solvents and ionic liquids. *Vestsi Natsyunal'noj akademii navuk Belarusi. Seryya khimichnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Chemical Series*, 2013, no. 3, pp. 45–49 (in Russian).
7. Aslanov L. A., Zaharov M. A., Abramychycheva N. L. *Ionic liquids in the series of solvents*. Moscow, Moscow State University Publ., 2005. – 272 p. (in Russian).
8. Pletnev I. V., Smirnova S. V., Hachatryan K. S., Zernov V. V. Application of ionic liquids in extraction. *Zhurnal Rossiiskogo khimicheskogo obshchestva im. D. I. Mendeleeva = Journal of D. I. Mendeleev Russian Chemical Society*, 2004, vol. XLVIII, no. 6, pp. 51–58 (in Russian).
9. Dandan Han, Kuyng Ho Row. Recent applications of ionic liquids in separation technology. *Molecules*, 2010, vol. 15, no. 4, pp. 2405–2426. DOI: 10.3390/molecules15042405
10. Leschev S. M., Anishchuk A. V., Antonchik V. V., Akayeu Y. B. Extraction of polycyclic aromatic hydrocarbons by methanol solutions of organic salts. *Vestsi Natsyunal'noj akademii navuk Belarusi. Seryya khimichnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Chemical Series*, 2015, no. 2, pp. 25–29 (in Russian).
11. Krapcho A. P., Lanza J. B. Improved synthesis of 2-chloro and 2,9-dichloro-1.10-phenanthrolines. *Organic Preparations and Procedures International*, 2007, vol. 39, is. 6, pp. 603-620. DOI: 10.1080/00304940709458644
12. Leshchev S. M., Rakhman'ko E. M. Quantitative criterion for the strength of a three-dimensional structure, in solvents. *Journal of Structural Chemistry*, 1991, vol. 31, no. 6, pp. 970-972. DOI: 10.1007/bf00752176
13. Leschev S. M., Novik N. P. Comparative estimation of the efficiency of structure formation and dispersion interactions in organic solvents of varying nature and polarity. *Journal of Structural Chemistry*, 1999, vol. 40, no. 3, pp. 424–427. DOI: 10.1007/bf02700639

Информация об авторах

Лещев Сергей Михайлович – д-р хим. наук, профессор, Белорусский государственный университет (ул. Ленинградская, 14, 220030, Минск, Республика Беларусь). E-mail: Leschev.sergey54@gmail.com

Онищук Антонина Вячеславовна – ст. преподаватель, Белорусский государственный университет (ул. Ленинградская, 14, 220030, Минск, Республика Беларусь). E-mail: Onischuk@tut.by

Окаев Евгений Борисович – канд. хим. наук, доцент, вед. науч. сотрудник, Белорусский государственный университет (ул. Ленинградская, 14, 220030, Минск, Республика Беларусь). E-mail: okaev1969@gmail.com

Антончик Виктория Валерьевна – гл. специалист лаб. физико-химических измерений, Республиканский центр аналитического контроля в области охраны окружающей среды (ул. Ботаническая, 9, 220038, Минск, Республика Беларусь). E-mail: vicky_chemist@tut.by

Фурс Сергей Федорович – канд. хим. наук, доцент, Белорусская медицинская академия последипломного образования (ул. П. Бровки, 3, 220013, Минск, Республика Беларусь). E-mail: cormayby@mail.ru

Information about the authors

Sergey M. Leschev – D. Sc. (Chemistry), Professor, Belarusian State University (14, Leningradskaya Str., 220030, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: Leschev.sergey54@gmail.com

Antonina V. Anishchuk – Senior Lecturer, Belarusian State University (14, Leningradskaya Str., 220030, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: Onischuk@tut.by

Yauhen B. Akayeu – Ph. D. (Chemistry), Associate Professor, Leading Researcher, Belarusian State University, (14, Leningradskaya Str., 220030, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: okaev1969@gmail.com

Viktoryia V. Antonchik – Leading Specialist, National Center for Analytical Monitoring in the Area of Environmental Protection (9, Botanicheskaya Str., 220038, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: vicky_chemist@tut.by

Siarhei F. Furs – Ph. D. (Chemistry), Associate Professor, Belarusian Medical Academy of Postgraduate Education (3, P. Brovki Str., Minsk, Republic of Belarus). E-mail: cormayby@mail.ru