

УДК 543.544:378.4

ЗУЙ М.Ф., ІЩЕНКО М.В., КЄДА Т.Є., ДОРОЩУК В.О., КУЛІЧЕНКО С.А., ЛИСЕНКО О.М.,
РАКС В.А., ТАНАНАЙКО О.Ю.

РОЗВИТОК ХРОМАТОГРАФІЇ НА КАФЕДРІ АНАЛІТИЧНОЇ ХІМІЇ КИЇВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА

Наведено інформацію про викладання та наукову діяльність в галузі хроматографічних методів аналізу на кафедрі аналітичної хімії Київського національного університету імені Тараса Шевченка за період з 70х років ХХ ст. до наших днів. Окреслено перспективні напрямки розвитку навчальних дисциплін і наукових досліджень кафедри у цій галузі.

Ключові слова: хроматографія, методи аналізу.

Приведена информация о преподавании и научной деятельности в области хроматографических методов анализа на кафедре аналитической химии Киевского национального университета имени Тараса Шевченко за период с 70-х годов ХХ ст. до наших дней. Обозначены перспективные направления развития учебных дисциплин и научных исследований кафедры в этой области.

Ключевые слова: хроматография, методы анализа.

An information about teaching and scientific activities in the field of chromatographic methods of analysis at the Department of Analytical Chemistry of the National Taras Shevchenko University of Kiev for the period from the 70s of the twentieth century till present days is given. The perspective directions of the development of academic disciplines and scientific research of the department in this area are outlined.

Key words: chromatography, methods of analysis.

Хроматографія сьогодні – один з потужних інструментальних методів хімічного аналізу, який стрімко розвивається в усьому світі. В Україні, і в Київському національному університеті імені Тараса Шевченка зокрема, хроматографія як метод хімічного аналізу почала активно розвиватися у 70-ті рр. ХХ ст.

Спецкурси з хроматографічних методів аналізу викладаються на кафедрі аналітичної хімії хімічного факультету понад 40 років. Студенти-бакалаври хімічного факультету починають знайомство з хроматографічними методами під час вивчення нормативної дисципліни «Інструментальні методи аналізу», в рамках якої виконують лабораторні роботи з тонкошарової, іонообмінної та газової хроматографії.

Лекційний курс з основ хроматографії для студентів 3 курсу кафедри аналітичної хімії розробила і читала д.х.н., проф. Мирослава Михайлівна Тананайко (1979-1991), у 80х роках для студентів кафедри хімії та аналізу рідкісних елементів курс з хроматографії викладали к.х.н., доц. Валерій Петрович Михайленко, потім к.х.н., доц. Едуард Андрійович Шпак. Надалі спецкурсом з основ хроматографії на кафедрі аналітичної хімії опікувався д.х.н., проф. Богдан Йосипович Набиванець (1991-2001), який впровадив в учбовий процес лабораторний практикум з паперової та іонообмінної хроматографії. Навчальні дисципліни з основ хроматографії продовжують викладати на кафедрі к.х.н., доц. Олена Миколаївна Лисенко (2002-13, з 2017 і по теперішній час), к.х.н. Ростислав Петрович Линник (2014-2016). Методи хроматографічного аналізу для студентів кафедри гідрології та екології

географічного факультету викладали д.х.н., проф. Набиванець Б.Й., д.х.н., проф. Линник П.М. (інститут гідробіології НАН України), к.х.н. доц. Ракс В.А., к.х.н., доц. Лисенко О.М.

1979 року у Києві видавництвом «Вища школа» було видано навчальний посібник «Хроматографический анализ» (автори Набиванець Б.И., Мазуренко Е.А.). Це видання протягом двох десятиріч було чи не єдиним українським методичним виданням з основ хроматографії. З розвитком викладання хроматографічних методів на кафедрі аналітичної хімії на базі лекційних курсів були видані навчальні посібники з інструментальних методів аналізу [1], з основ хроматографії [2, 3], посібники з газової та високоефективної рідинної хроматографії [4, 5], а також підготовки проб для хроматографічного аналізу [6].

2001 року за ініціативи завідувача кафедри д.х.н., проф. Володимира Миколайовича Зайцева на кафедрі заснували лабораторію хроматографічних методів аналізу. Для лабораторії придбали газовий хроматограф «Agilent 6890 N» (США) з капілярною колонкою та з полуменево-іонізаційним детектором. За підтримки фірми «АЛСІ-ХРОМ» (директор к.х.н. Єсауленко А.М.) на кафедрі було передано рідинний хроматограф «Agilent 1100» (США) з УФ детектором. Ці хроматографи стали базовими приладами для розробки сучасних спецкурсів з газової і високоефективної рідинної хроматографії для студентів освітньої спеціалізації «магістр» кафедри.

2001 року були розроблені і впроваджені у початкову програму магістрів такі нові навчальні дисципліни як: «Капілярна газова хроматографія та капілярний електрофорез», «Високоефективна рідинна хроматографія» і «Сучасні хроматографічні методи». За фінансової та інтелектуальної підтримки співробітників ТОВ «АЛСІ-ХРОМ» к.х.н. Андрія Миколайовича Єсауленка, Ігоря Івановича Танасова та активної участі співробітників кафедри PhD Тетяни Вікторівни Ковальчук, к.х.н., доц. Вікторії Анатоліївни Ракс, к.х.н. Валентини Михайлівни Левчик до цих спецкурсів були розроблені і впроваджені у навчальний процес лабораторні роботи з сучасних хроматографічних методів. Лекції читають викладачі кафедри доц. Лисенко О.М., доц. Ракс В.А., доц. Смик Н.І. В той самий часовий проміжок доц. Ракс В.А. започатковано спецкурс «Сучасні методи пробопідготовки», який містить в собі лабораторний практикум з найпоширеніших методів підготовки проб для хроматографічного аналізу [6]. В рамках курсу студенти знайомляться з особливостями пробовідбору і підготовки проб з різних за природою і агрегатним станом об'єктів та проводять їх подальший аналіз методами тонкошарової, газової та рідинної хроматографії. Студенти отримують практичні навички застосування методів мікрофільтрації, центрифугування, ультразвукової обробки, твердофазної та рідинної екстракції для підготовки проб. В рамках дисципліни «Біоаналітична хімія» д.х.н., доц. Оксана Юріївна Тананайко, к.х.н., доц. Ракс В.А. та інж., к.х.н. Левчик В.М. розробили лабораторні роботи з аналізу амінокислот і білків методом ВЕРХ [7].

Отримані знання, набуті практичні навички і вміння дають можливість випускникам-магістрам кафедри бути конкурентноспроможними на сучасному ринку праці. Випускники успішно працюють, а також займають керівні посади у приватних та державних лабораторіях з контролю якості лікарських засобів, антидопінгового контролю та в ін. Також отримані знання дають випускникам кафедри можливість продовжувати навчання на програмах: «Доктор філософії» в провідних університетах Європи та США.

Протягом 2012-13 років на базі кафедри аналітичної хімії за підтримки Організації з заборони хімічної зброї проводилися міжнародні курси «Розвиток аналітичних навичок у галузі пробопідготовки та аналізу речовин, що занесені у список Конвенції про заборону хімічної зброї», координатором яких була к.х.н. доц. Халаф (Ракс) В.А. На цих курсах навчалися науковці та інженери з метою опанування основ методів ГХ та ГХ-МС, навичок відбору проб та підготовки зразків, які містять хімічні речовини, що входять у список Конвенції. Співробітники кафедри (проф. Зайцев В.М., доц. Ракс В.А., доц. Тананайко О.Ю., доц. Дорошук В.О., доц. Зуй М.Ф., доц. Лисенко О.М. та інженер Левчик В.М.) в рамках міжнародних курсів читали лекції і проводили лабораторні роботи з пробопідготовки та газової хроматографії [8-10].

Окрім навчального процесу на хімічному факультеті проводяться наукові дослідження, пов'язані з хроматографічними методами та удосконаленням підготовки проб для хроматографічного аналізу.

У 50-60-х роках на кафедрі аналітичної хімії під керівництвом академіка АН УРСР, д.х.н., проф. Анатолія Кириловича Бабка було розпочато дослідження з розділення іонів металів методом адсорбційної хроматографії [11].

Ініціатором впровадження напряму хроматографії хелатів металів на кафедрі хімії та аналізу рідкісних елементів був учень А.К. Бабка завідувач кафедри, академік АН УРСР проф. Анатолій Терентійович Пилипенко. Першими, хто розпочав дослідження в цьому напрямку, були доцент кафедри к.х.н. Іван Петрович Середа та його помічник Валерій Петрович Михайленко – на той час інженер лабораторії хімічної технології. Дисертаційна робота Михайленка В.П. «Газохроматографическое исследование хелатов металлов с фторированными бета-дикетонами и применение их в анализе» виконувалася на стику аналітичної, органічної та фізичної хімії, вона була успішно захищена 1981 р. Михайленко В.П. синтезував і вивчав термодинамічні властивості ряду флуорованих бета-дикетонатів хрому, алюмінію і берилію на нерухомих силіконових фазах з метою оптимізації аналітичного визначення суб-мікрограмових концентрацій даних металів в різних об'єктах (Авт. Свид. СССР №998360 21.10.1982 на визначення берилію в сталях). Були визначені термодинамічні параметри бета-дикетонатів металів, до складу яких входили різні замісники [12-15].

Разом з доц. Середою І.П. вивченням газохроматографічної поведінки дикетонатів металів займався старший науковий співробітник Інституту фізичної хімії АН УРСР, к.х.н. А.Н. Король, який досліджував термодинамічні параметри утримування органічних сполук, флуорованих хелатів металів в газорідинній хроматографії. Результати дослідження розширили основи теорії газової хроматографії хелатів металів і були оприлюднені на засіданні Наукової ради СРСР з аналітичної хімії [16, 17]. Дослідження виконувалися на газових хроматографах ЛХМ-8МД радянського, потім "Хром-2" чеського виробництва. Згодом, кафедра придбала газовий хроматограф "Цвет-100" (Дзержинське ОКБА) з полуменево-іонізаційним детектором.

У 70-х – на початку 80-х рр. к.х.н., доц. цієї ж кафедри Едуард Андрійович Шпак проводив дослідження щодо розділення іонів металів у формі їх комплексів з органічними лігандами методом паперової і тонкошарової хроматографії.

На початку ХХІ ст. після придбання сучасного обладнання дослідження кафедри аналітичної хімії в галузі хроматографічних методів отримали нові напрями. Однією з важливих задач сучасної аналітичної хімії є встановлення форм існування іонів важких металів у природних водах. Для розділення комплексів іонів металів з органічними лігандами застосовують газову хроматографію з попереднім концентруванням, зокрема методом твердофазної екстракції. Для фракціонування органічних сполук застосовують методи гель-хроматографії та іонної хроматографії. Цій тематиці присвячена частина дисертаційної роботи к.х.н., с.н.с. Линника Р.П. (2004 р., науковий керівник - д.х.н., проф. Запорожець О.А.). Дослідження проводилися у співпраці зі співробітниками відділу прісних вод інституту гідробіології НАН України (м. Київ) [18-20].

Інший перспективний науковий напрям – пробопідготовка перед хроматографічним визначенням органічних сполук. Дисертаційна робота Халаф (Ракс) В.А. (2004 р., науковий керівник – д.х.н., проф. Зайцев В.М.), була присвячена дослідженню хімічно модифікованих кремнеземів, які містять на поверхні групи солей арилдіазонію, 2,3,5-трифенілтетразолію та неіоногенної поверхнево-активної речовини (ПАР) Triton X-100. У роботі доведено можливість застосування отриманих сорбентів при пробопідготовці в аналізі природних вод. Досліджено закономірності процесу сорбції фенолу, 1- та 2-нафтолів, резорцину, пірокатехіну, гідрохінону, 2,4,6-тринітрофенолу, умови концентрування та відділення мікрокількостей фенольних забрудників від макрокомпонентів модифікованими кремнеземами. Запропоновано методики сорбційно-спектроскопічного, сорбційно-

кольориметричного, сорбційно-фотометричного, сорбційно-хроматографічного визначення фенолу, 1-нафтолу, 2,4,6-тринітрофенолу у водах та біологічних рідинах.

Застосування хімічно та адсорбційно модифікованих кремнеземів у проведенні хроматографічного аналізу – один з перспективних напрямів роботи кафедри, який розвивали д.х.н., проф. Зайцев В.М., к.х.н., доц. Ракс В.А., к.х.н., доц. Алексєєв С.О. Методи пробопідготовки з використанням твердофазної екстракції (ТФЕ) отримали подальший розвиток у роботах доц. Ракс В.А. [21, 22]. Було синтезовано твердофазні реагенти на основі кремнезему з іммобілізованими аналітичними групами для селективного вилучення органічних сполук, а також синтезу стаціонарних фаз для рідинної хроматографії [23]. Розроблено твердофазний реагент на основі 2,3,5-трифенілтетразолій хлориду, іммобілізованого на поверхні кремнезему, для селективного вилучення 2,4,6-тринітрофенолу з водних розчинів [24]. Запропоновано спосіб одержання хімічно модифікованих фенілдіазонієвими групами кремнеземів для вилучення фенолів, нафтолів, ароматичних амінів з розбавлених розчинів [25-27].

Ще один напрям наукових досліджень к.х.н., доц. Ракс В.А. – розробка методів пробопідготовки із використанням рідинно-рідинної екстракції (PPE), а також оптимізація умов розділення органічних сполук методами хроматографії. У рамках проведених досліджень були оптимізовані умови хроматографічного розділення кофеїну в водних розчинах в ізократичному режимі методом обернено-фазової вискоєфективної рідинної хроматографії та проведено визначення його вмісту в безалкогольних напоях [28]. Оптимізовано умови PPE та газохроматографічного визначення ментолу у льодяниках від кашлю [29]. Нові методи пробопідготовки дають можливість суттєво збільшити співвідношення сигнал/фон при хроматографічному визначенні отриманих концентратів, покращити чутливість та вибірковість визначення аналітів при застосуванні методів рідинної хроматографії.

2008 року розпочато новий напрям наукової роботи групи к.х.н., доц. Марини Федорівни Зуй, пов'язаний з розвитком нових методів пробопідготовки для хроматографічного визначенні кисневмісних органічних сполук – фталатів, парабенів, бензофенонів і карбонільних сполук. Під керівництвом завідувача кафедри чл. кор. НАН України, д.х.н., проф. Зайцева В.М. наукова група доц. Зуй М.Ф. однією з перших в Україні почала розвивати методи рідинної і твердофазної мікроекстракції (PME і ТФМЕ) для хроматографічного аналізу. Методики капілярної і дисперсійної мікроекстракції в поєднанні з газовою хроматографією були успішно застосовані при аналізі вод різних типів, деяких лікарських і косметичних засобів, напоїв на вміст бензофенонів, парабенів, фталатів, альдегідів, чутливість визначення складає до 1 мкг/л [30–33].

Цікавим напрямом дослідження став розвиток методів ТФМЕ з використанням комерційних фایберів з покриттями: полідиметилсилоксановим (ПДМС), полідиметилсилоксан/дивінілбензолем (ПДМС/ДВБ), поліакрилатним (ПА), виробництва фірми «Supelco». Методи твердофазної мікроекстракції були розроблені для вилучення аліфатичних альдегідів C₁–C₈ з використанням ПДМС/ДВБ файберів в поєднанні з дериватизацією за допомогою о-(2,3,4,5,6-пентафторбензил)-гідроксиламіну гідрохлориду у водному розчині [33, 34]. Застосування методів ТФЕ дозволило знизити межу виявлення альдегідів і покращити метрологічні характеристики газохроматографічних методик їх визначення.

Під керівництвом к.х.н., доц. Зуй М.Ф. захищено дві кандидатські дисертації, присвячені пробопідготовці: Левчик В.М. «Рідинне мікроекстракційне концентрування ряду бензофенонів і парабенів з газохроматографічним детектуванням» (2016 р.) та Захарків І.Б. «Мікроекстракційне концентрування і газохроматографічне визначення ряду фталатів і аліфатичних альдегідів» (2017 р.).

Подальший розвиток метод ТФМЕ отримав в роботі [35], де представлені результати дослідження синтезованих гібридних органомінеральних покриттів на основі кремнезему і ПЕГ, які були використані при ТФМЕ вилученні парабенів з водних розчинів. Останні

дослідження продовжують розвиток методів ТФМЕ для концентрування і газохроматографічного визначення ароматичних альдегідів [36]. В роботі описано оптимізовані умови ТФМЕ альдегідів та їх газохроматографічного визначення.

Перспективному способу пробопідготовки для хроматографії присвячені наукові дослідження к.х.н., доц. Сергія Анатолійовича Куліченка і к.х.н., доц. Володимира Олександровича Дорошука. У їх роботах описано застосування міцелярно-екстракційного концентрування мікрокомпонентів фазами поверхнево-активних речовин (ПАР) для наступного визначення методами газової та рідинної хроматографії. Використання супрамолекулярних організованих середовищ ПАР забезпечує додаткову вибірковість гібридних та комбінованих методик хроматографічного визначення компонентів за рахунок реалізації ефектів «гість-хазяїн» та «гідрофобної відповідності» на стадії пробопідготовки і значно розширює сферу використання неселективних детекторів у рутинному аналізі реальних об'єктів. Висока кратність міцелярно-екстракційного концентрування цільових аналітів з невеликих об'ємів проби забезпечує суттєве підвищення чутливості хроматографічного визначення із використання доступних рутинних (УФ, ПІД) детекторів, а визначення компонентів з міцелярних концентратів дозволяє одночасно додатково реалізувати переваги варіантів міцелярної хроматографії. Запропоновані підходи успішно використовуються для визначення пестицидів у харчових продуктах та активних фармацевтичних інгредієнтів у біологічних рідинах [37-42].

За участі завідувачки д.х.н., проф. Запорожець О.А. у 2015 р. на кафедрі було передано газовий хромато-мас-спектрометр «VarianSaturn 2100 IonTrap GC/MS» з хроматографічною системою «Varian 3900». У співпраці з лабораторією антидопінгового контролю Національного антидопінгового центру України було розроблено і валідовано методику визначення заборонених у спорті діуретиків методом ГХ-МС (д.х.н., проф. Запорожець О.А., к.х.н. Іщенко М.В.). Методика була впроваджена у рутинну роботу лабораторії антидопінгового контролю [43].

Під керівництвом д.х.н., проф. Запорожець О.А. у співпраці з Державною службою України з лікарських засобів та контролю за наркотиками у 2016 на кафедрі започатковано новий напрям досліджень, який базується на використанні методу вискоєфективної тонкошарової хроматографії (ВЕТШХ, НРТLC). Вдале поєднання принципів доступного методу ТШХ з люмінесцентним детектуванням на поверхні нерухомої фази суттєво розширило можливості класичної ТШХ і перевело її у площину селективного та кількісного методу аналізу. Зокрема, розроблені к.х.н, доц. Тетяною Євгенівною Кедою методики аналізу лікарських засобів синтетичного та рослинного походження переважають відомі аналоги за чутливістю та простотою виконання [44-46].

Хроматографічні методи аналізу і пробопідготовки залишаються і надалі пріоритетними у навчальних дисциплінах і науковій роботі кафедри аналітичної хімії.

ЛІТЕРАТУРА

1. **Набиванець Б.Й., Сухан В.В., Лисенко О.М.** Основи хроматографічного аналізу. Навчальний посібник. Київ: ВПЦ «Київський університет». 2002. 121 с.
2. **Лисенко О.М., Набиванець Б.Й.** Вступ до хроматографічного аналізу. Навчальний посібник. Київ: Корвін Прес. 187 с. 2005. Гриф Міністерства освіти і науки України (лист від 16.05.05 №14/18.2-1083).
3. **Лисенко О.М., Ковальчук Т.В., Левчик В.М., Зайцев В.М.** Практикум з газової хроматографії. Навчальний посібник для виконання лабораторних робіт. Київ: ВПЦ «Київський університет», 2013. 71 с.
4. **Лисенко О.М., Ковальчук Т.В., Зайцев В.М.** Основи газової хроматографії. Навчальний посібник. Частина 1,2. Київ: ВПЦ «Київський університет», 2014.

5. **Ракс В.А., Есауленко А.М.** Сучасна хроматографія на гребені хвилі прогресу. Київ. 2014, 162с.
6. **Халаф В.А., Зайцев В.М.** Пробовідбір та пробопідготовка в хроматографії. К.:ВПЦ «Київський університет». 2014, 234 с.
7. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт із дисципліни “Біоаналітика” для студентів хімічного факультету кафедри аналітичної хімії. Упоряд. доц. О.Ю. Наджафова. Київ: ВПЦ “Київський університет”. 2006. 32 с.
8. **Халаф В.А., Лысенко Е.Н., Левчик В.М., Зуй М.Ф., Лазаренко А.В.** Лабораторный практикум по пробоподготовке и анализу веществ, занесенных в список Конвенции о запрещении химического оружия. Под ред. Халаф В. Киев, 2012. 30 с.
9. **Ракс В.А., Лысенко Е.Н., Левчик В.М., Зуй М.Ф.** Развитие аналитических навыков в области пробоподготовки и анализа веществ, занесенных в список Конвенции о запрещении химического оружия. Лабораторный практикум. Под ред. Ракс В.А. Киев, 2013. 31 с.
10. **Ракс В.А., Лысенко Е.Н., Зайцев В.Н., Дорошук В.А., Зуй М.Ф., Тананайко О.Ю.** Развитие аналитических навыков в области пробоподготовки и анализа веществ, занесенных в список Конвенции о запрещении химического оружия. Учебное пособие. Конспект лекций. Под ред. Ракс В.А. Киев, 2013. 200 с.
11. Развитие аналитической химии на Украине. Под. ред. А.Т. Пилипенко. Киев: Наукова думка. 1982. 368 с.
12. **Mikhaylenko V.P. and Sereda I.P.** Retention data of chromium chelates with different β -Diketones as ligands. *Journal of Chromatography*. 1979. V. 168. 333-341P. DOI: 10.1016/0021-9673(79)80003-5.
13. **Mikhaylenko V.P. Sereda I.P.** Minimizing the retention of chromium chelates with some fluorinated β -diketones. *Journal of Chromatography*. 1980. V. 191. P. 231-238. DOI: 10.1016/S0021-9673(00)86383-9.
14. **Михайленко В.П., Середя И.П., Король А.Н.** Некоторые особенности газожидкостной хроматографии хелатных комплексов хрома и бериллия. *Журнал аналитической химии*. 1979. Т.34(5). С. 862-866.
15. **Михайленко В.П., Середя И.П., Король А.Н.** Особенности количественного определения хелатов металлов методом ГЖХ. *Журнал аналитической химии*. 1979. Т. 34(11). С. 2260-2275.
16. Киевский семинар по аналитической химии. *Журнал аналитической химии*. 1978. Т. 33 (11). С. 2283-2284-в.
17. Киевский семинар по аналитической химии. *Журнал аналитической химии*. 1981. Т. 36 (8). С. 1669.
18. **Запорожець О.А., Линник Р.П.** Методологічні підходи до визначення співіснуючих форм важких металів. Вибрані розділи спецкурсу «Співіснуючі форми металів в об’єктах довкілля та методи їх дослідження». Київ: ВПЦ «Тираж». 2005.
19. **Линник Р.П., Линник П.Н., Запорожець О.А.** Методы исследования сосуществующих форм металлов в природных водах (Обзор). *Методы и объекты химического анализа*. 2006. т. 1. № 1. С. 4–26.
20. **Линник П.Н., Иванечко Я.С., Линник Р.П., Жежеря В.А.** Методические особенности исследования гумусовых веществ в природных поверхностных водах. *Химия и технология воды*. 2013. Т. 35. № 6. С. 533–550.
21. **Raks V.A., Turchin V.A., Zaitsev V.N.** Chromatographic Determination of Pesticide 2,4-D in Water Bodies. *Journal of Water Chem. Technology*. 2015. doi: 10.3103/S1063455X15060065.
22. **Ivanova O.M., Raks V.A., Zaitsev V.N.** Highly-Effective Liquid Chromatographic Determination of 2,4,6-Trinitrophenol in Surface Water safterits Selective Solid Phase Extraction. *Journal of Water Chem. Technology*. 2014. 36. 273–279 p. doi: 10.3103/S1063455X14060034.

23. Book. Nanomaterials and Nanocomposites, Nanostructure Surfaces, and Their Applications. Chapter: Raks V.A., Myronyuk O.V., Baklan D.V., Lysenko O.M., Sivolapov P.V. Novel Silica-Based Material with Nano-functional Groups for Analytical Application. Selected Proceedings of the 8th International Conference Nanotechnology and Nanomaterials (NANO 2020), 26–29 August 2020, Lviv, Ukraine. Editors: Fesenko O., Yatsenko L. Series: Chemistry. 13 (36). – P. 19-24.
24. **Зайцев В.Н., Халаф В.А.** Синтез и изучение свойств иммобилизованного на SiO₂ 2,3,5-трифенилтетразолия для селективного концентрирования пикриновой кислоты. *Вісник Харківського національного університету*. 2005. Серія: Хімія. Вип. 13 (36). – С. 19-24.
25. Пат. 2828, МПК7 b01j 20/00. Спосіб одержання кремнезему, хімічно модифікованого арилдіазонієвими групами. Зайцев В.М., Зайцева Г.М., Халаф В.А., Гождзінський С.М.(ua). № 2004010686; заявлено 30.01.04; опубл.16.08.04. бюл. № 8. 5. 11 с.
26. **Zaitsev V.N., Khalaf V.A., Zaitseva G.N.** Organosilica composite for preconcentration of phenolic compounds from aqueous solutions. *Anal. Bioanal. Chem.* 2008. 391, № 4. P. 1335-1342.
27. **Zaitsev V.N., Khalaf V.A., Zaitseva G.N.** Methods of preconcentration and determination of phenolic compounds (Review). *Methods and objects of chemical analysis*. 2008. 3, № 1. P. 4-21.
28. **Халаф В., Зайцев В., Левчик В., Галицька О.** Визначення кофеїну в безалкогольних напоях методом оберненофазової вискоєфективної рідинної хроматографії. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка*. Хімія. 2010. Вип. 48. С. 40-42.
29. **Ракс В., Мотирикін Є., Левчик В., Зайцев В.** Визначення ментолу у льодяниках «Травісил». *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка*. Хімія. 2013. Вип. 49. С. 35-38.
30. **Zakharkiv I., Zui M., Zaitsev V.** Determination of Phthalate Esters in Water and Liquid Pharmaceutical Samples by Dispersive Liquid-Liquid Microextraction (DLLME) and Gas Chromatography with Flame Ionization Detection (GC-FID). *Analytical Letters*. Jan. 2020. pp. 1–18.
31. **Levchik V.M., Zui M.F., Zaitsev V.N.** Capillary and dispersive microextraction of diphenylketones. *Journal of Water Chemistry and Technology*. Sep. 2014. V. 36 (5). 217–224.
32. **Zakharkiv I.B., Zui M.F., Zaitsev V.N.** Dispersive liquid-phase microextraction for determination of phthalates in water. *Journal of Water Chemistry and Technology*. 2015. 37. P 78-84
33. **Zakharkiv I. B., M. F. Zui.** Solid-phase microextraction of aliphatic aldehydes C₅–C₈ and gas chromatographic determination for lung cancer diagnosis. *Reports of the National Academy of Sciences of Ukraine*. 2016. № 8. P. 85–91.
34. **Захарків І.Б., Зуй М.Ф.** Твердофазное микроэкстракционное концентрирование алифатических альдегидов C₁–C₅ в форме производных о-(2,3,4,5,6-пентафторбензил)гидроксиламина. *Ukrainian chemistry journal*. 2016. V. 82 (2). P. 107–112.
35. **Shnyder B.A., Levchik V.M., Zui M.F., Kobylinska N.G.** Hybrid Organosilica Coatings for Solid Phase Microextraction: Highly Efficient Adsorbents for Determination of Trace Parabens. *Protection of Metals and Physical Chemistry of Surfaces*. 2019. V. 55 (4). P. 657–666.
36. **Mosendz A., Levchik V., Zui M.** The preconcentration of aromatic aldehydes on polydimethylsiloxane-divinylbenzene fiber. *Molecular Crystals and Liquid Crystals*. 2021. V. 719 (1), pp. 71–83.
37. **Fedorchuk O.I., Kulichenko S.A.** Determination of Non-Narcotic Analgetics by HPLC with Preconcentration on Triton X-100 Induced Phases. *Journal of Analytical Chemistry*. 2018. V. 73(9). P. 917–921.
38. **Doroshchuk V.A., Gonta N.A., Drozdova M.V., Kulichenko S.A.** Determination of furosemide in urine by HPLC with preconcentration by micellar-extraction. *Journal of Analytical Chemistry*. 2009. V. 64 (10). P. 1054-1058.

39. **Дорошук В.А., Киричук Т.В., Левчик В.М.** Мицеллярно-экстракционное концентрирование перметрина и α -циперметрина для газохроматографического определения в водах и пищевых продуктах. *Методы и объекты хим. анализа*. 2018. Т. 13, № 4. С. 160-166.
40. **Makukha O.G., Ivashchenko L.A., Zaporozhets O.A., Doroschuk V.O.** Cloud point extraction combined with HPLC–MS for the determination of nimesulide in biological samples. *Chemical Papers*. 2019. V. 73, № 3. P. 693-699.
41. **Doroschuk V.O., Matsenko I.Yu., Mandzyuk Y.S., Makukha O.G.** *Journal of Analytical Chemistry*. 2019. V. 74, № 7. P. 701-706.
42. **Doroschuk V.O., Sabko V.Ye., Ivashko O.V., Popov aL.O., Shalamay A.S.** Enantioselective Determination Of S- And R-Isomers Of Ibuprofen In Plasma By Ultra-Performance Liquid Chromatography – Tandem Mass Spectrometry. *Methods and Objects Chem. Anal.* 2020. V. 15, № 1. P. 40-46.
43. **Zaporozhets O., Tsyurulneva I., Ischenko M.** Determination of 8 Diuretics and Probenecid in Human Urine by Gas Chromatography-Mass Spectrometry: Confirmation Procedure. *American J. of Analytical Chemistry*. 2012. V.3. P. 320-327.
44. **Лесик І.П., Ткачук О.В., Запорожець О.А.** Визначення та ідентифікація компонентів 1,10-декаметилен-біс(N,N'-диметилментоксикарбонілметил)амонію дихлориду з використанням ТШХ. Тези доповідей Київської конференції з аналітичної хімії: Сучасні тенденції - 2016 (з міжнародною участю). Київ. 2016. С. 90.
45. **Агранова А.Я., Кеда Т.Є., Лесик І.П., Запорожець О.А.** Ідентифікація рутину у лікарських засобах рослинного походження методом ТШХ з флуоресцентним детектуванням. Тези доповідей ХІХ Міжнародної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Сучасні проблеми хімії», Київ, 2018. С. 7.
46. **Полуденна А.Я., Лесик І.П., Кеда Т.Є.** Визначення хлорогенової кислоти у лікарських засобах методом ТШХ з люмінесцентним детектуванням. Тези доповідей ХХІ Міжнародної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Сучасні проблеми хімії», Київ. 2020. С. 39.

REFERENCES

1. **Nabivanets B.Yo., Sukhan V.V., Lysenko O.M.** Basics of chromatographic analysis. Tutorial. Kyiv: VPC "KyivUniversity". 2002. 121 p.
2. **Lysenko O.M., Nabivanets B.Yo.** Introduction to chromatographic analysis. Tutorial. Kyiv: CorvinPress. 2005. 187 p.
3. **Lysenko O.M., Kovalchuk T.V., Levchyk V.M., Zaitsev V.M.** Workshop on gas chromatography. Study guide for performing laboratory work. Kyiv: VPC "KyivUniversity", 2013. 71 p.
4. **Lysenko O.M., Kovalchuk T.V., Zaitsev V.M.** Basics of gas chromatography. Tutorial. Part 1,2. Kyiv: VPC "KyivUniversity", 2014.
5. **Raks V.A., Esaulenko A.M.** Modern chromatography on the intersection of a progress wave. Kyiv. 2014, 162 p.
6. **Khalaf V.A., Zaitsev V.M.** Sample selection and sample preparation in chromatography. K.: VPC "Kyiv University". 2014, 234 p.
7. Instructions for performing laboratory work in the discipline "Bioanalytics" for students of the chemical faculty of the department of analytical chemistry. O. Yu. Nadzhafova. Kyiv: VPC "KyivUniversity". 2006. 32 p.
8. **Khalaf V.A., Lysenko O.M., Levchyk V.M., Zuy M.F., Lazarenko A.V.** Laboratory workshop on sample preparation and analysis of substances included in the list of the Convention on the Prohibition of Chemical Weapons. Ed. Khalaf V. Kyiv, 2012. 30 p.

9. **Raks V.A., Lysenko O.M., Levchyk V.M., Zui M.F.** Development of analytical skills in the field of sample preparation and analysis of substances included in the list of the Convention on the Prohibition of Chemical Weapons. Laboratory practice. Ed. Raks V.A. Kyiv, 2013. 31 p.
10. **Raks V.A., Lysenko O.M., Zaitsev V.M., Doroshchuk V.A., Zui M.F., Tananayko O.Yu.** Development of analytical skills in the field of sample preparation and analysis of substances included in the list of the Convention on the Prohibition of Chemical Weapons. Educational manual. Synopsis of lectures. Ed. Raks V.A. Kyiv, 2013. 200 p.
11. Development of analytical chemistry in Ukraine. Ed. A.T. Pylypenko. – Kyiv: Naukova dumka. 1982. 368 p.
12. **Mikhaylenko V.P. Sereda I.P.** Retention data of chromium chelates with different β -Diketones as ligands. *Journal of Chromatography*. 1979. V. 168. P. 333-341. DOI: 10.1016/0021-9673(79)80003-5.
13. **Mikhaylenko V.P. Sereda I.P.** Minimizing the retention of chromium chelates with some fluorinated β -diketones. *Journal of Chromatography*. 1980. V. 191. P. 231-238. DOI: 10.1016/S0021-9673(00)86383-9.
14. **Mykhaylenko V.P., Sereda I.P., Korol` A.N.** Some features of gas-liquid chromatography of chromium and beryllium chelate complexes. *Journal of analytical chemistry*. 1979. V. 34(5). P. 862-866.
15. **Mykhaylenko V.P., Sereda I.P., Korol` A.N.** Peculiarities of quantitative determination of metal chelates by GLC method. *Journal of analytical chemistry*. 1979. V. 34(11). P. 2260-2275.
16. Kyiv Seminar on Analytical Chemistry. *Journal of analytical chemistry*. 1978. V. 33 (11). P. 2283-2284.
17. Kyiv Seminar on Analytical Chemistry. *Journal of analytical chemistry*. 1981. V. 36 (8). P. 1669.
18. **Zaporozhets O.A., Lynnyk R.P.** Methodological approaches to the determination of coexisting forms of heavy metals. Selected sections of the special course "Coexisting forms of metals in environmental objects and methods of their research". Kyiv: VPC "Tirazh". 2005.
19. **Lynnyk R.P., Lynnyk P.M., Zaporozhets O.A.** Research methods of coexisting forms of metals in natural waters. (Review). *Methods and objects of chemical analysis*. 2006. V. 1. N1. P. 4–26.
20. **Lynnyk P.N., Ivanechko J.S., Lynnyk R.P., Zhezherya V.A.** Methodological features of the study of humic substances in natural surface waters. *Chemistry and technology of water*. 2013. V. 35. N6. P. 533–550.
21. **Raks V.A., Turchin V.A., Zaitsev V.N.** Chromatographic Determination of Pesticide 2,4-D in Water Bodies. *Journal of Water Chem. Technology*. 2015. (doi: 10.3103/S1063455X15060065).
22. **Ivanova O.M., Raks V.A., Zaitsev V.N.** Highly-Effective Liquid Chromatographic Determination of 2,4,6-Trinitrophenol in Surface Water safterits Selective Solid Phase Extraction. *Journal of Water Chem. Technology*. 2014. 36. P. 273–279. (doi: 10.3103/S1063455X14060034).
23. Book. Nanomaterials and Nanocomposites, Nanostructure Surfaces, and Their Applications. Chapter: Raks V.A., Myronyuk O.V., Baklan D.V., Lysenko O.M., Sivolapov P.V. Novel Silica-Based Material with Nano-functional Groups for Analytical Application. Selected Proceedings of the 8th International Conference Nanotechnology and Nanomaterials (NANO 2020), 26–29 August 2020, Lviv, Ukraine. Editors: Fesenko O., Yatsenko L. 2005. Series: Chemistry. 13 (36). – P. 19-24.
24. **Zaitsev V.N., Khalaf V.A.** Synthesis and study of properties of 2,3,5-triphenyltetrazolium immobilized on SiO₂ for selective concentration of picric acid. *Bulletin of Kharkiv National University. Series: Chemistry*. 2005. V. 13 (36). – P. 19-24.
25. Pat. 2828, MPK7 b01j 20/00. The method of obtaining silica chemically modified by aryldiazonium groups. / Zaitsev V.M., Zaitseva H.M., Khalaf V.A., Hozhdzinsky S.M.(ua). N 2004010686; stated 30.01.04; published 16.08.04. *Bul.* N8. 5. 11 P.

26. **Zaitsev V.N., Khalaf V.A., Zaitseva G.N.** Organosilica composite for preconcentration of phenolic compounds from aqueous solutions. *Anal. Bioanal. Chem.* 2008. 391, N 4. P. 1335-1342.
27. **Zaitsev V.N., Khalaf V.A., Zaitseva G.N.** Methods of preconcentration and determination of phenolic compounds (Review). *Methods and objects of chemical analysis.* 2008. T. 3, N1. P. 4-21.
28. **Khalaf V., Zaitsev V., Levchyk V., Halytska O.** Determination of caffeine in soft drinks by the reverse-phase high-performance liquid chromatography method. *Bulletin of Taras Shevchenko Kyiv National University. Chemistry.* 2010. T. 48. P. 40-42.
29. **Raks V., Motirikin E., Levchyk V., Zaitsev V.** Determination of menthol in "Travisyl" lollipops. *Bulletin of Taras Shevchenko Kyiv National University. Chemistry.* 2013. T. 49. P. 35-38.
30. **Zakharkiv I., Zui M., Zaitsev V.** Determination of Phthalate Esters in Water and Liquid Pharmaceutical Samples by Dispersive Liquid-Liquid Microextraction (DLLME) and Gas Chromatography with Flame Ionization Detection (GC-FID). *Analytical Letters.* Jan. 2020. P. 1-18.
31. **Levchik V.M., Zui M.F., Zaitsev V.N.** Capillary and dispersive microextraction of diphenylketones. *Journal of Water Chemistry and Technology.* 2014. Sep. V. 36 (5). P. 217-224.
32. **Zakharkiv I.B., Zui M.F., Zaitsev V.N.** Dispersive liquid-phase microextraction for determination of phthalates in water. *Journal of Water Chemistry and Technology.* 2015. 37. P 78-84
33. **Zakharkiv I.B. and Zui M.F.** Solid-phase microextraction of aliphatic aldehydes C₅-C₈ and gas chromatographic determination for lung cancer diagnosis. *Reports of the National Academy of Sciences of Ukraine.* 2016. N 8. P. 85-91.
34. **Zakharkiv I.B., Zui M.F.** Solid-phase microextraction of aliphatic aldehydes C₁-C₅ as derivatives of o-(2,3,4,5,6-pentafluorobenzyl)hydroxylamine. *Ukrainian chemistry journal.* 2016. V. 82 (2). P. 107-112.
35. **Shnayder B.A., Levchyk V.M., Zui M.F., Kobylinska N.G.** Hybrid Organosilica Coatings for Solid Phase Microextraction: Highly Efficient Adsorbents for Determination of Trace Parabens. *Protection of Metals and Physical Chemistry of Surfaces.* 2019. V. 55 (4). P. 657-666.
36. **Mosendz A., Levchyk V., Zui M.** The preconcentration of aromatic aldehydes on polydimethylsiloxane-divinylbenzene fiber. *Molecular Crystals and Liquid Crystals.* 2021. V. 719 (1), P. 71-83.
37. **Fedorchuk O.I., Kulichenko S.A.** Determination of Non-Narcotic Analgetics by HPLC with Preconcentration on Triton X-100 Induced Phases. *Journal of Analytical Chemistry.* 2018. V. 73(9). P. 917-921.
38. **Doroshchuk V.A., Gonta N.A., Drozdova M.V., Kulichenko S.A.** Determination of furosemide in urine by HPLC with preconcentration by micellar-extraction. *Journal of Analytical Chemistry.* 2009. V. 64 (10). P. 1054-1058.
39. **Doroshchuk V.A., Kyrychuk T.V., Levchyk V.M.** Micellar-extractive concentration of permethrin and α -cypermethrin for gas chromatographic determination in water and food. *Methods and objects of chemistry analysis.* 2018. V. 13, N 4. P. 160-166.
40. **Makukha O.G., Ivashchenko L.A., Zaporozhets O.A., Doroshchuk V.O.** Cloud point extraction combined with HPLC-MS for the determination of nimesulide in biological samples *Chemical Papers.* 2019. V. 73, N 3. P. 693-699.
41. **Doroshchuk V.O., Matsenko I.Yu., Mandzyuk Y.S., Makukha O.G.** *J. Anal. Chem.* – 2019. V. 74, N 7. P. 701-706.
42. **Doroshchuk V.O., Sabko V.Ye., Ivashko O.V., Popova L.O., Shalamay A.S.** Enantioselective Determination Of S- And R-Isomers Of Ibuprofen In Plasma By Ultra-Performance Liquid Chromatography – Tandem Mass Spectrometry. *Methods Objects Chem. Anal.* 2020. V. 15, N 1. P. 40-46.
43. **Zaporozhets O., Tsyurulneva I., Ischenko M.** Determination of 8 Diuretics and

Probenecid in Human Urine by Gas Chromatography-Mass Spectrometry: Confirmation Procedure. *American J. of Analytical Chemistry*. 2012. V. 3. P. 320-327.

44. **Lesyk I.P., Tkachuk O.V., Zaporozhets O.A.** Determination and identification of the components of 1,10-decamethylene-bis(n,n`-dimethylmenthoxy carbonylmethyl) ammonium dichloride using tlc. Abstracts of the Kyiv conference on analytical chemistry: Current Trends – 2016. Kyiv 2016. P. 90.

45. **Agranova O.Ya., Keda T.E., Lesyk I.P., Zaporozhets O.O.** Identification of rutin in medicinal ingredients of plant origin by tlc method with fluorescence detection. Abstracts of papers of the XIX international conference of students, graduate students and young scientists "Modern problems of chemistry". Kyiv. 2018. P. 7.

46. **Poludenna O.Ya., Lesyk I.P., Keda T.E.** Determination of chlorogenic acid in medicinal products by the tlc method with luminescent detection. Abstracts of papers of the XXI international conference of students, graduate students and young scientists "Modern problems of chemistry", Kyiv. 2020. P. 39.

Київський національний університет імені Тараса Шевченка, м. Київ

Надійшло до редакції 10 вересня 2021 р.