

# ПРОМЫШЛЕННЫЙ ГАЗОАНАЛИТИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ ОТ ПЕРИОДИЧЕСКОГО ОТБОРА ПРОБ – К НЕПРЕРЫВНОМУ МОНИТОРИНГУ

**З.Баскин**, д.т.н., Вятский государственный университет  
Baskin.Zakhar@mail.ru

УДК 543.432, ВАК 02.00.02

Сегодня вопросы экологии волнуют многих. Необходимость системного подхода к решению актуальных проблем производственной и экологической безопасности очевидна. Измерение количества загрязняющих веществ в выбросных технологических газах и концентрации их в воздухе рабочих, жилых и природных зон – одна из самых актуальных областей эколого-аналитического (ЭАК), технолого-аналитического (ТеАК) и токсиколого-аналитического контроля (ТоАК). Вопросами контроля содержания химических загрязнителей в окружающей среде в СССР начали заниматься в середине 20 века, когда активно развивалось промышленное производство. Более 45 лет назад была разработана и реализована на Кирово-Чепецком химическом комбинате концепция непрерывного промышленного контроля загрязнения динамических объектов воздушной среды. В ней применены методы, в которых предусмотрены непрерывный сорбционный пробоотбор и периодический хроматографический анализ контролируемых примесей, а также метрологическое обеспечение измерений в условиях, соответствующих рабочим.

## СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К АНАЛИЗУ МИКРОПРИМЕСЕЙ В ВОЗДУХЕ

В ЭАК, ТеАК и ТоАК всех объектов окружающей среды необходимо использовать методы системного анализа. Системный подход к контролю загрязняющих веществ (ЗВ) в воздухе предусматривает изучение характеристик и особенностей функционирования объектов; применение промышленных автоматических и автоматизированных методов и технических средств, специализированных в соответствии с требованиями к промышленной и экологической безопасности.

Общий алгоритм решения различных аналитических задач ЭАК, ТеАК и ТоАК предусматривает: представительный пробоотбор, достоверный анализ отбираемых проб, оперативную обработку результатов анализа и информацию, достаточную для принятия правильных технических и управленческих решений, а также динамические методы метрологического обеспечения измерительных комплексов в условиях, соответствующих рабочим.

Основные задачи ЭАК, ТеАК и ТоАК с производственной точки зрения следующие:

- технолого-аналитический контроль источников загрязнения. К ним относятся экологически значимые параметры технологических процессов, прежде всего организованные выбросы, прошедшие скрубберную очистку, и неорганизованные выбросы: утечки из технологического оборудования, а также случайные выбросы;
- эколого-аналитический контроль загрязняющих веществ (ЗВ) в воздухе рабочих и жилых зон; индивидуальный химический дозиметрический контроль;
- токсикологический контроль веществ, материалов и изделий производственного назначения, пищевых продуктов, одежды, обуви, детских игрушек и других бытовых товаров.

Одним из наиболее информативных видов ЭАК, ТеАК и ТоАК является экологический мониторинг – наблюдение за изменением состава, свойств и других параметров контролируемого объекта в течение длительного времени, превышающего цикл анализа.

Все объекты ЭАК, ТеАК и ТоАК делятся на статические и динамические. Статические объекты стабильны во времени, в то время как динамические изменяют свои параметры случайным образом в течение цикла анализа. Боль-

шинство объектов ЭАК, ТеАК и ТоАК – динамические [1, 2], поэтому их мониторинг должен быть непрерывным.

### ГАЗОАНАЛИТИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОЗДУХА

Газоаналитическое приборостроение началось с лабораторных объемно-манометрических газоанализаторов. Первый такой прибор, предназначенный для определения примесей  $\text{CO}_2$  в газовой смеси, появился в Швеции в 1897 году. В 1904 году в Германии запатентован второй газоанализатор, основанный на измерении теплопроводности анализируемых газов в воздухе [3, 4].

В Советском Союзе первые автоматические газоанализаторы появились в 20-х годах прошлого века. В 1936 году А.А.Эйкен опубликовал монографию "Физико-химический анализ в производстве" [5]. Основы теории автоматических тепловых газоанализаторов и первые отечественные автоматические термокондуктометрические и термохимические анализаторы воздуха разработал М.М.Файнберг [6–7]. В 60–80-х годах 20 века ведущими центрами газоаналитического приборостроения в СССР были ГСКБ АП АН СССР (Ленинград) и ОКБА НПО "Химвавтоматика" (Москва), руководимые В.А.Павленко, Н.Я.Феста и Ю.М.Лужковым [3, 8, 9]. Большую работу по организации и методическому обеспечению санитарно-химического контроля воздушной среды выполнили ученые ленинградского и московского институтов гигиены труда и главной геофизической обсерватории им. А.И.Воейкова Е.А.Перегуд, С.И.Муравьева, Э.Ю.Безуглая, В.И.Красов, Н.С.Вольберг [10–13].

Советские приборостроительные заводы выпускали ряд универсальных и специализированных автоматических термокондуктометрических, термохимических, электрокондуктометрических, фотоколориметрических и оптико-акустических газоанализаторов, стационарных и передвижных постов. С их помощью определяли примеси вредных веществ, загрязнявших воздух жилых зон и выбросные газы. Но приборов и систем не хватало, поэтому под контролем было менее 10% подверженных загрязнению объектов.

Среди отечественных автоматических газоанализаторов, используемых для анализа воздуха, следует отметить газоанализаторы по теплопроводности типов ТП 1116 и ТП 2220, фотоколориметрические ленточные газоанализаторы типа ФЛ 5501, комплектные лаборатории "Пост-1", "Пост-2", "Пост-3" и автоматические станции контроля загрязнения атмосферы (АСКЗА).

### ЭТАПЫ РАЗВИТИЯ ХРОМАТОГРАФИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОЗДУХА В СССР И РОССИИ

Н.М.Туркельтауб впервые предложил газохроматографический метод определения примесей углеводородов в воз-

духе над поверхностью земли при разведке месторождений нефти и газа (1949–1950) [14, 15]. Он применил периодическое концентрирование анализируемых веществ на твердом сорбенте при отборе проб и использовал воздух в качестве газа-носителя.

А.А.Жуховицкий и Н.М.Туркельтауб разработали теплодинамический метод концентрирования и хроматографического разделения анализируемых веществ на твердых селективных сорбентах (1957, 1962) [16, 17].

Е.В.Вагин разработал и внедрил способы определения микропримесей углеводородов в криогенных газах путем предварительного низкотемпературного концентрирования анализируемых компонентов и теплодинамического обогащения и разделения их (1966–1972) [18].

З.Л.Баскин и А.Н.Голубев разработали и внедрили в химических производствах способы и устройства для непрерывного хроматографического определения примесей ЗВ в технологических выбросных газах и в воздухе рабочих зон с использованием его в качестве газа-носителя (1965–1971) [19–21].

К.А.Гольберт и М.С.Вигдергауз в первом отечественном учебнике по газовой хроматографии рассмотрели особенности определения микропримесей в газовых смесях: многократное обогащение методом хроматермографии, низкотемпературное концентрирование, удаление основного компонента, высокочувствительные детекторы, двухступенчатые схемы разделения (1967) [22].

Р.Кайзер создал реверсионную газовую хроматографию с непрерывным концентрированием микропримесей анализируемых газов при отборе проб на основе теплодинамического метода. Он обосновал необходимость предварительного концентрирования определяемых примесей, когда их концентрация в газах меньше  $10^{-2}\%$  (1968–1972) [23, 24].

А.П.Альтшуллер подготовил первый обзор по газовой хроматографии, содержащий 102 статьи, опубликованные до 1966 года (1968) [25].

В.Г.Березкин и В.С.Татаринский исследовали газохроматографические методы анализа примесей газов в газовых смесях, в том числе в воздухе (1970) [26].

С.Ф.Яворовская разработала ряд методик лабораторного газохроматографического определения примесей ЗВ в атмосферном воздухе. Они получили применение в санитарной химии (1972) [27].

З.Л.Баскин на основе личного производственного опыта написал аналитический обзор "Методы промышленного анализа примесей фторсодержащих газов в воздухе". В нем сообщалось о разработке и применении специализированных промышленных газовых хроматографов для непрерывного определения примесей токсичных органических и неорганических соединений фтора и хлора в воздухе рабо-

чих зон химических производств. В 1975 и 1980 годах были опубликованы статьи о непрерывном газохроматографическом контроле вредных веществ в воздухе [28, 29].

М.Д.Манита, Р.М.-Ф.Салихджанова и С.Ф.Яворовская выпустили монографию "Современные методы определения атмосферных загрязнений населенных мест", предназначенную для санитарных врачей, гигиенистов и химиков лабораторий санитарно-эпидемиологических станций. Наряду с общими вопросами, характеризующими атмосферные загрязнения, были рассмотрены способы периодического разового мгновенного, абсорбционного и адсорбционного пробоотбора и лабораторные физико-химические, в том числе газохроматографические, методы определения наиболее распространенных ЗВ в атмосфере (1980) [30].

В.Н.Липавский и В.Г.Березкин опубликовали одну из первых монографий, посвященных универсальным промышленным автоматическим (поточковым) газовым хроматографам, разработанным в СССР в СКБ АНН для контроля процессов в нефтехимии и нефтепереработке (1982) [31]. После доработки конструкции они могли применяться для контроля агрессивных сред в технологических процессах и определения примесей ЗВ в выбросных газах.

Ю.С.Другов издал наибольшее число работ, посвященных газохроматографическим методам анализа загрязненного воздуха. В соавторстве с В.Г.Березкиным в 1981 году он опубликовал первую монографию по газохроматографическому анализу ЗВ в воздухе. В ней были рассмотрены основные операции лабораторного периодического контроля загрязнения атмосферы: отбора, подготовки и дозирования в хроматограф отобранных проб, хроматографического разделения анализируемых примесей, качественного и количественного их определения. Привел примеры анализа примесей ряда неорганических и органических ЗВ в атмосферном воздухе [32]. Через три года с коллективом авторов Ю.С.Другов издал вторую монографию "Методы анализа загрязнений воздуха", в которой были приведены примеры применения хроматографических, хромато-масс-спектрометрических, спектроскопических и электрохимических методов определения токсичных микропримесей в атмосфере [33].

З.Л.Баскин совместно с В.И.Калмановским, Я.И.Яшиным, В.И.Орловым и А.А.Аратсковой разработали и применили на практике способ непрерывного ионохроматографического анализа примесей неорганических анионов и катионов во влажном воздухе (1986) [34].

О.А.Шпигун и Ю.А.Золотов выпустили первую отечественную монографию "Ионная хроматография и ее применение в анализе вод", в которой был обобщен опыт развития ионной хроматографии в России и в мире (1990) [35].

З.Л.Баскин, А.Л.Лаптев и А.А.Лавринов опубликовали статью о применении специализированных промышленных анализаторов фторорганических соединений в воздухе "Пафос" на Кирово-Чепецком химическом комбинате (2001) [36].

Ю.С.Другов, И.Г.Зенкевич и А.А.Родин выпустили 2-е издание практического руководства "Газохроматографическая идентификация загрязнения воздуха, воды, почвы и биосред" (2005) [37].

Ю.С.Другов и А.А.Родин опубликовали 3-е издание практического руководства "Пробоподготовка в экологическом анализе" (2009) [38].

Я.И.Яшин, Е.Я.Яшин и А.А.Яшин издали обобщающую монографию "Газовая хроматография", в которой уделили внимание применению газовой хроматографии для контроля загрязнения окружающей среды (2009) [39].

И.Г.Зенкевич и Ю.С.Другов опубликовали в "Журнале аналитической химии" обстоятельный обзор методов газохроматографической идентификации органических загрязнителей природной среды (2013) [40].

## ХРОМАТОГРАФИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ АНАЛИЗА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОЗДУХА

Хроматографические методы анализа воздуха получили широкое применение в СССР. По данным Дзержинского ОКБА НПО "Химвтоматика" – бывшего ведущего предприятия в области хроматографического приборостроения – в эколого-аналитическом контроле ЗВ в воздухе еще в начале 70-х годов 20 века хроматографическими методами выполняли более 50% анализов атмосферного воздуха и получали более 90% информации.

Заслуживают внимания выполненные на Кирово-Чепецком химическом комбинате (КЧХК) в 1963–1997 годах работы по непрерывному промышленному хроматографическому определению примесей фтор- и хлорсодержащих газов в воздухе [1, 2, 19–21, 28, 29, 41]. На КЧХК была разработана концепция и технология непрерывных хроматографических методов анализа (НХМА). Она была основана на способах непрерывного сорбционного пробоотбора (НСП), хроматографического анализа сконцентрированных примесей и динамических методах метрологического обеспечения измерений. Технология промышленного ЭАК была основана на применении специализированных автоматических хроматографов "Пафос", "Токсигаз", "Микрофтор", "Цвет-эко". Корректное метрологическое обеспечение газоаналитических измерений было достигнуто с помощью впервые разработанных на КЧХК фторопластовых стабильных источников микропотоков газов, паров и аэрозолей "Микрогаз" и динамических установок "Микрогаз", "Микрогаз-Ф", "Микрогаз-ФМ". С их помощью во время работы хроматографов непрерывно готовились повероч-

ные газовые смеси в диапазоне микроконцентраций анализируемых веществ параллельно с применением внутренних и внешних стандартов.

Эту концепцию применяли на КЧХК в эколого-аналитическом контроле воздуха рабочих и жилых зон, организованных и неорганизованных выбросов, выделений газов из химических веществ, материалов и изделий. Ее можно использовать в индивидуальном химическом дозиметрическом контроле.

Все известные способы отбора проб воздуха на анализ были классифицированы по времени на разовый мгновенный пробоотбор (РМП), разовый сорбционный пробоотбор (РСП), непрерывный пробоотбор (НП) и непрерывный сорбционный пробоотбор (НСП). В результате исследования предпочтение было отдано НСП на твердых селективных сорбентах при температуре окружающей среды. НСП позволяет использовать контролируемый воздух в качестве газа-носителя в хроматографе, автоматизировать анализ и сделать его непрерывным. Промышленный ЭАК с НСП обеспечил правильный статистический учет динамики загрязнения воздушной среды в контролируемых зонах.

Были разработаны способы выбора режимов сорбции и десорбции и параметров пробоотборных сорбционных трубок (ПСТ) и других устройств для отбора проб, конструкции автоматизированных пробоотборников воздуха (АПВ) и автоматизированных пробоотборных устройств (АПУ). АПВ впервые обеспечили непрерывный сорбционный отбор среднесменных и среднесуточных проб примесей неорганических фтор- и хлорсодержащих веществ в воздухе рабочих зон и выбросных газах и их автоматизированный хроматографический анализ.

Хроматографы отличались высокой коррозионной стойкостью и низкой сорбционной емкостью фторопластовых элементов газовой схемы. В конструкциях приборов наряду с непрерывным мониторингом состава исследуемой газовой смеси предусматривалась автоматическая диагностика работы с помощью внутренних стандартов.

Разработанные на КЧХК средства метрологического обеспечения измерений позволяли непрерывно получать многокомпонентные поверочные газовые смеси с микропримесями анализируемых веществ, имеющих разные предельно-допустимые концентрации в воздухе рабочих зон. Накопленный опыт показал, что при концентрациях определяемых веществ  $\leq 10^{-2}\%$  можно эффективно производить динамическое наблюдение состава газовой смеси.

Практическая полезность концепции и технологии непрерывных хроматографических методов анализа очевидна. От периодического пробоотбора и анализа не представительных случайных разовых проб она позволила перейти к непрерывному контролю.

В 1997 году члены Научного совета по хроматографии РАН и Диссертационного совета Института физической химии РАН квалифицировали разработанные и внедренные на КЧХК хроматографические методы и метрологическое обеспечение измерений в непрерывном эколого-аналитическом и технологическом контроле как научно обоснованное перспективное направление развития хроматографии, обеспечивающее решение крупной научно-технической проблемы повышения экологической безопасности [41].

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Службы ЭАК загрязнения атмосферного воздуха работают во всех регионах РФ, в разных отраслях народного хозяйства, на многих промышленных предприятиях. До сегодняшнего дня в соответствии с действующими государственными стандартами безопасности труда, охраны атмосферы и другими нормативными документами [42–46] производится, как правило, периодический анализ атмосферного воздуха и выбросных газов. Допускается и непрерывный анализ. Он регламентирован для токсичных веществ 1-го и 2-го классов опасности.

Но атмосферный воздух и выбросные технологические газы, как и воздух рабочих зон – это динамические природные и техногенные объекты с неизвестным характером появления и изменения концентрации и количества анализируемых ЗВ. Поэтому их определение с РМП или РСП в заданные или случайные моменты времени, не связанные с особенностями функционирования и техническими характеристиками контролируемых объектов, может привести к ошибкам, поскольку остаются неизвестными появление ЗВ и динамика изменения их концентрации в контролируемом объекте в периоды между отбором проб [1]. От периодического пробоотбора и анализа не представительных случайных разовых проб следует переходить к непрерывному контролю, а нормативные документы нуждаются в совершенствовании и переработке в соответствии с требованиями времени.

Современные автоматизированные системы экологического контроля и мониторинга для особо опасных производственных объектов в химии, нефтепереработке, хранении, утилизации и ликвидации твердых бытовых и производственных отходов проектируют и производят многие отечественные и зарубежные компании. В зависимости от группы определяемых примесей принципы действия приборов основаны на разных физико-химических процессах (термохимические, электрохимические, фотоионизационные, фотоколориметрические, хроматографические и др.) или физических методах анализа (термокондуктометрические, денсиметрические, магнитные, термомагнитные, оптико-акустические, оптические и др.). Они могут быть стацио-

нарные или портативные, способы отбора проб – диффузионный или принудительный, с использованием средств пассивного и активного пробоотбора.

Перспективным методом дистанционного непрерывного автоматического контроля загрязнения атмосферного воздуха без отбора и подготовки проб стал лазерный оптико-акустический количественный анализ многокомпонентных газовых смесей. Такой подход особенно важен для удаленного контроля производственных процессов в агрессивных средах. Лазерные оптико-акустические методы анализа разработаны учеными МГТУ им. Н.Э.Баумана и НИЦ "Курчатовский институт" [47–49].

В соответствии с Федеральным законом от 21 июля 2014 года № 219-ФЗ (п. 9 ст. 67) "О внесении изменений в Федеральный закон "Об охране окружающей среды" и отдельные законодательные акты Российской Федерации" на объектах I категории стационарные источники промышленных выбросов должны быть оснащены автоматическими средствами измерения и учета объема или массы выбросов вредных (загрязняющих) веществ. Контроль промышленных выбросов станет обязательным с 1 января 2018 года.

В ФЗ-219 определено понятие НДТ – наилучшая доступная технология или наилучшая существующая технология – "технология производства продукции (товаров), выполнения работ, оказания услуг, определяемая на основе современных достижений науки и техники и наилучшего сочетания критериев достижения целей охраны окружающей среды при условии наличия технической возможности ее применения".

Согласно Распоряжению Правительства РФ от 24 декабря 2014 года № 2674-р утверждены перечни областей применения наилучших доступных технологий. Применение НДТ направлено на комплексное предотвращение и минимизацию негативного воздействия отходов и выбросов на экологию. По вступающему в силу закону на промышленных производствах должен быть предусмотрен непрерывный автоматический контроль выбросов взвешенных веществ, диоксида серы, аммиака, оксида азота, сероводорода, оксида углерода, фторидов, хлористого водорода, углеводородов, метилмеркаптана, этилмеркаптана, а также мышьяка и его соединений средствами измерений утвержденных типов. Богатый опыт предыдущих поколений разработчиков и исследователей, дополненный современными знаниями, в том числе в области информационных технологий, позволяет создавать отвечающие запросам сегодняшнего дня системы непрерывного экологического мониторинга воздушной среды.

## ЛИТЕРАТУРА

1. **Баскин З.Л.** Промышленный аналитический контроль. Хроматографические методы анализа фтора и его соединений // М.: Энергоатомиздат, 2008. 224 с.
2. **Баскин З.Л.** Системный подход к решению задач промышленного экоаналитического контроля // СПб: Теза, 1996, Т. 5. № 4. С. 270–274.
3. **Павленко В.А.** Газоанализаторы // М.-Л.: Машиностроение, 1965. 296 с.
4. **Иовенко Э.Н.** Автоматические анализаторы и сигнализаторы токсичных и взрывоопасных веществ в воздухе // М.: Химия, 1972. 192 с.
5. **Эйкен А.А.** Физико-химический анализ в производстве / ОНТИ Химтеорет. / пер. с нем. // Л., 1936. 348 с.
6. **Файнберг М.М.** Автоматические газоанализаторы // Свердловск – Москва: Металлургиздат, 1941. 128 с.
7. **Файнберг М.М.** Современные методы автоматического анализа газов в промышленности // Заводская лаборатория. 1949. Т. 15. С. 631.
8. **Павленко В.А.** Газоаналитическое приборостроение в СССР. Автоматические газоанализаторы (Сборник статей) / Ред. колл., гл. ред. В.А.Павленко // М.: ЦИНТИ Электропром, 1961.
9. **Феста Н.Я., Павленко В.А.** Новые разработки анализаторов газов и жидкостей, выполненные в ОКБА и ГСКБ АП // Автоматизация химических производств (сборник статей). Вып. 1–2 М.: ГК Сов. Мин. СССР по химии. 1960. С. 15.
10. **Перегуд Е.А., Быховская М.С., Гернет Е.В.** Быстрые методы определения вредных веществ в воздухе // М.: Химия, 1970. 358 с.
11. **Перегуд Е.А.** Химический анализ воздуха (новые и усовершенствованные методы) // Л.: Химия, 1976. 326 с.
12. **Перегуд Е.А.** Санитарно-химический контроль воздушной среды. Справочник // Л.: Химия, 1978. 323 с.
13. **Муравьева С.И., Бабина М.Д., Атласов А.Г., Новикова И.С.** Санитарно-химический контроль воздуха промышленных предприятий // М.: Медицина, 1982. 352 с.
14. **Туркельтауб Н.М.** Хроматографический газоанализатор // Ж. Заводск. Лаб. 1949. Т. 15. № 6. С. 653.
15. **Туркельтауб Н.М.** Хроматографический метод раздельного определения микроконцентраций углеводородов в воздухе // ЖАХ. 1950. Т. 5. № 4. С. 200–210.
16. **Жуховицкий А.А., Туркельтауб Н.М.** Докл. АН СССР. Т. 116. 1957. 986 с.
17. **Жуховицкий А.А., Туркельтауб Н.М.** Газовая хроматография // М.: Гостоп-техиздат, 1962. 442 с.
18. **Вагин Е.В.** Определение микропримесей углеводородов в низкокипящих газах // В сб. Газовая хроматография. Труды III Всесоюзной конференц. по газовой хроматограф. Дзержинск. 1966. 467 с.

19. **Баскин З.Л., Голубев А.Н.** Способ анализа примесей в газовом потоке. А.С. СССР, Кл. 42I, 4/16, № 231203. Заявлено 26.09.67. Опубл. 5.11.68. Б.и № 35.
20. **Баскин З.Л., Голубев А.Н.** Способ хроматографического анализа газов. А.С. СССР, Кл. 42I 4/16 № 240326. Заявлено 08.02.68. Опубл. 21.03.69. Б.и. № 12.
21. **Баскин З.Л., Голубев А.Н.** и др. Хроматограф. А.С. СССР, Кл. G01n 31/08 № 348940. Заявлено 10.11.71. Опубл. 23.08. 72. Б.и. № 25 .
22. **Гольберт К.А., Вигдергауз М.С.** Курс Газовой хроматографии // М.: Химия. 1967. 400 с.
23. **Кайзер Р.** Фундаментальные проблемы окружающей среды // Тез. доклада на Международном симпозиуме Хроматография и масс-спектрометрия в анализе объектов окружающей среды. СПб.: РНЦ Прикладная химия, 1994. С. 5–6.
24. **Кайзер Р.** Определение следовых количеств и микропримесей методом газовой хроматографии // В сб. ст. "Успехи хроматографии" // М.: Наука, 1972. С. 193–214.
25. Altshuller A. P Advances in Chromatogr., V. 5. New York. M. Dekker. 1968. P. 229.
26. **Березкин В.Г., Татаринский В.С.** Газохроматографические методы анализа примесей // М.: Наука, 1970. 213 с.
27. **Яворовская С.Ф.** Газовая хроматография – метод определения вредных веществ в воздухе и биологических средах // М.: Медицина, 1972. 207 с.
28. **Баскин З.Л.** Методы промышленного анализа примесей фторсодержащих газов в воздухе. Аналитический обзор // М.: ЦНИИАтоминформ, 1975. 53 с.
29. **Баскин З.Л.** Непрерывный газохроматографический контроль вредных веществ в воздухе // НТПС Автоматизация химических производств // М.: НИИ-ТЭХИМ, 1980. № 4. С. 24–27.
30. **Манита М.Д., Салихджанова Р.М.-Ф., Яворовская С.Ф.** Современные методы определения атмосферных загрязнений населенных мест // М.: Медицина, 1980. 255 с.
31. **Липавский В.Н., Березкин В.Г.** Автоматические газовые потоковые хроматографы // М.: Химия, 1982. 224 с.
32. **Другов Ю.С., Березкин В.Г.** Газохроматографический анализ загрязненного воздуха // М.: Химия, 1981. 256 с.
33. **Другов Ю.С., Беликов А.Б. Дьякова Г.А., Тульчинский В.М.** Методы анализа загрязнения воздуха // М.: Химия, 1984. 384 с.
34. **Баскин З.Л., Аратскова А.А., Орлов В.И.** Способ анализа неорганических примесей в газах. А.С. СССР. Заявл. 28.01.86 G 01n 30/ 48, №1347006. Опубл. 23.10.1987. Б.и.№ 39.
35. **Шпигун О.А., Золотов Ю.А.** Ионная хроматография и ее применение в анализе вод // М.: Изд-во МГУ, 1990. 199 с.
36. **Баскин З.Л., Лаптев А.Л., Лавринов А.А.** Промышленные анализаторы фторорганических соединений в воздухе "ПАФОС" // Приборы. 2001. № 8(14). С. 20–23.
37. **Другов Ю.С., Зенкевич И.Г., Родин А.А.** Газохроматографическая идентификация загрязнений воздуха, воды, почвы и биосред. Практическое руководство / 2-е изд. // М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2005. 752 с.
38. **Другов Ю.С., Родин А.А.** Пробоподготовка в экологическом анализе. Практическое руководство / 3-е изд. // М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2009, 855 с.
39. **Яшин Я.И., Яшин Е.Я., Яшин А.Я.** Газовая хроматография // М.: Транс-Лит, 2009. 528 с.
40. **Зенкевич И.Г., Другов Ю.С.** Основы газохроматографической идентификации органических загрязнителей природной среды // Журнал аналитической химии. 2013 Т. 68. № 10. С. 940–956.
41. **Баскин З.Л.** Хроматографические методы и метрологическое обеспечение измерений в непрерывном эколого-аналитическом и технологическом контроле. Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук // Кирово-Чепецк, 1997. 187 с.
42. ГОСТ 12.1.005.-88. Система стандартов безопасности труда. Общие санитарно-технические требования к воздуху рабочей зоны // М.: Изд. стандартов, 1988. 75 с.
43. ГОСТ 17.2.3.01-86. Охрана природы. Атмосфера. Правила контроля качества воздуха населенных пунктов // М.: Изд. стандартов, 1987. 5 с.
44. РД 52. 04.186-89. Руководство по контролю загрязнения атмосферы // М.: Госкомгидромет СССР, 1991. 693 с.
45. **Соловьева Т.В., Хрусталева В.А.** Руководство по методам определения вредных веществ в атмосферном воздухе // М.: Медицина, 1974. 294 с.
46. Ежегодники состояния загрязнения атмосферы в городах на территории России. ГО ГГО Роскомгидромет / Под ред. Э.Ю.Безуглой // СПб, 2001–2015.
47. **Набиев Ш.Ш., Григорьев Г.Ю. Надеждинский А.И.** и др. Дистанционное детектирование молекул HF в открытой атмосфере с помощью перестраиваемых диодных лазеров // В сб. "Перспективные материалы" // М., 2010. С. 75–80.
48. **Козинцев В.И., Белов М.Л., Городничев В.А., Федотов Ю.В.** Лазерный оптико-акустический анализ многокомпонентных газовых смесей // М.: Изд. МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2003. 352 с.
49. **Городничев В.А., Белов М.Л., Федотов Ю.В., Еременко Л.Н.** Лазерный оптико-акустический анализ сложных газовых смесей // Вестник МГТУ им. Н.Э.Баумана. Серия: Приборостроение. 2015. № 4. С. 34–45.