

ФОРМИРОВАНИЕ НАУЧНОГО МЫШЛЕНИЯ У СТУДЕНТОВ НА ОСНОВЕ ОСВОЕНИЯ МЕТОДОВ АНАЛИЗА ВЕЩЕСТВА

М. А. Косарева¹, Л. А. Байкова², Е. А. Никоненко³, В. В. Вайтнер⁴,
Габдуллин А. Н.⁵

Уральский федеральный университет, Екатеринбург, Россия.

E-mail: ¹89122269153@mail.ru; ²baikova@yandex.ru; ³eanik1311@mail.ru;
⁴vaitner@yandex.ru; ⁵gan1105@mail.ru

Аннотация. Введение. В федеральных государственных стандартах высшего образования (ФГОС ВО) естественнонаучного и технического направлений подготовки, а также в ряде соответствующих профессиональных стандартов компетентность в области аналитической химии указывается как одна из основных квалификационных характеристик специалиста / выпускника вуза. Это обусловлено междисциплинарностью аналитической химии и широким спектром применения методов анализа, которые используются сегодня не только непосредственно на химическом производстве, но и в энергетике, строительстве, металлургии, материаловедении, стандартизации, сертификации и многих других сферах. Однако в настоящее время существует большой разрыв между достижениями химической науки и содержанием вузовской дисциплины, что снижает качество подготовки кадров, востребованных на рынке труда. Данное несоответствие обусловлено как сохранением традиционной методологии преподавания химии, так и причинами методического плана.

Цель описанного в публикации исследования – поиск более продуктивных, формирующих научное мышление студентов способов освоения содержания химических дисциплин.

Методология и методы. Методологической базой работы являлись концепции химического и естественнонаучного образования в высшей школе; принципы системного, когнитивного, практико-ориентированного и компетентностного обучения.

Результаты исследования и научная новизна. На основе обзора и обобщения научных и методических источников по теории и практике применения методов анализа вещества с дидактических позиций выделен и сопоставлен ряд этих методов, показаны их роль и особенности в определении структуры молекулы и других характеристик индивидуального вещества и его ра-

створов. Несмотря на то, что в работе рассмотрены известные методы анализа, такое обобщение позволяет более четко понять их предназначение и принципы выбора в зависимости от целевых установок и специфики изучаемого объекта, что крайне важно для формирования исследовательских навыков в период обучения, становления научного мышления и приобретения выпускниками естественнонаучных и технических направлений подготовки требуемой квалификации. С целью актуализации приобретаемых знаний подобраны примеры, иллюстрирующие прикладное использование различных методов анализа в современной научно-производственной практике. Для более эффективного восприятия учебного материала предлагаются таблицы, помогающие обоснованно выбрать адекватный поставленным задачам метод анализа объекта. Табличный сбор сведений делает учебную информацию компактной и удобной для восприятия, дает возможность преподавателю снизить трудозатраты, а студентам – сократить время и облегчить процедуры определения соответствующих ситуации методов химического, физико-химического и/или физического анализа.

Практическая значимость. Работа подготовлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО и адресована практикующим и начинающим преподавателям вузов, а также аспирантам химических специальностей. Представленные в статье материалы могут служить подспорьем при составлении учебных планов химических дисциплин или формировании модулей образовательных программ.

Ключевые слова: методология преподавания химии, метод, анализ, спектроскопия, оптические спектры, растворы, структурное строение вещества.

Для цитирования: Косарева М. А., Байкова Л. А., Никоненко Е. А., Вайтнер В. В., Габдуллин А. Н. Формирование научного мышления у студентов на основе освоения методов анализа вещества // Образование и наука. 2018. Т. 20. № 4. С. 84–113. DOI: 10.17853/1994-5639-2018-4-84-113

FORMATION OF STUDENTS' SCIENTIFIC THINKING BASED ON THE LEARNING OF METHODS OF THE SUBSTANCE ANALYSIS

M. A. Kosareva¹, L. A. Baikova², E. A. Nikonenko³, V. V. Vaitner⁴,
Gabdullin A. N.⁵

Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin, Yekaterinburg, Russia.

E-mail: ¹89122269153@mail.ru; ²baikova@yandex.ru; ³eanik1311@mail.ru;
⁴vaitner@yandex.ru; ⁵gan1105@mail.ru

Abstract. Introduction. In Federal State Standards of the Higher Education (FSS HE) of the natural-science and technical specialties and also in a number of the corresponding professional standards, the competence in the field of analytical chemistry is specified as one of the main qualification characteristics of an expert/university graduate. It is caused by interdisciplinarity of analytical chemistry and a wide range of application of analysis methods which are used today not only directly on chemical production, but also in power engineering, construction engineering, metallurgy, materials science, standardization, certification, and many other spheres. At the current time, however, there is a big gap between achievements of chemical science and content of high school discipline that reduces quality of staff training demanded in labour market. This discrepancy is caused both by preservation of traditional methodology of teaching chemistry and the reasons of the methodical plan.

The aim of the publication is to search for more effective and productive ways of mastering the educational material that is relevant for acquiring the qualifications required from the university graduate.

Methodology and research methods. Methodological framework of the article involves the concepts of chemical and natural-science education at the higher school; the principles of the system-based, cognitive, practice-focused and competence-based training.

Results and scientific novelty. On the basis of the review and generalization of scientific and methodological resources on the theory and practice of application of the analysis methods of substances from didactic positions, a number of these methods have been singled out and compared; their role and features in determination of a molecule structure and other characteristics of an individual substance and its solutions have been shown. Despite the fact that the work is carried out using known methods of analysis, such a generalization makes it possible to more clearly understand the principles of the choice of a method and the method importance according to the purposes and specifics of the studied object that is essential for formation of research skills during training, as well as for formation of scientific thinking and the required qualification acquisition by graduates of the natural-science and technical specialties. In order to update the acquired knowledge, the examples illustrating applied use of various analysis methods in modern research and production practice have been collected. Tables have been made for a faster perception of the material by methods of analysis for the purpose of an informed choice of the method. Reliance on the principle of tabular collection of material makes it easier to understand the individuality of the method; allows teachers to reduce their workload; and on the part of students, to shorten the time and simplify the procedure of choosing the method of chemical, physicochemical and/or physical analysis.

Practical significance. The work is compiled in accordance with the State General Educational Standards of Higher Professional Education, and can be re-

commended to practising and beginning teachers of higher education institutions, as well as graduate students of chemical specialties. The materials presented in the article can assist in designing the curricula of chemical disciplines or modules of educational programs.

Keywords: methodology of chemistry teaching, method, analysis, spectroscopy, optical spectra, solutions, structural structure of matter.

For citation: Kosareva M. A., Baikova L. A., Nikonenko E. A., Vaitner V. V., Gabdullin A. N. Formation of students' scientific thinking based on the learning of methods of the substance analysis. *The Education and Science Journal*. 2018; 4 (20): 84–113. DOI: 10.17853/1994-5639-2018-4-84-113

Введение

Широкий спектр практических направлений использования и междисциплинарный характер аналитической химии обусловили ее включение в перечень основных компонентов профессиональной подготовки студентов многих естественнонаучных и технических специальностей, что зафиксировано как в ФГОС ВО, так и в ряде профессиональных стандартов.

Востребованность в современном мире профессиональных знаний и навыков в области аналитической химии, важнейшего прикладного раздела химической науки, неуклонно увеличивается в связи с тем, что в начале XXI века одной из актуальных проблем стал стремительный рост числа и ассортимента выполняемых анализов¹, объектами которых сегодня является практически все, что нас окружает: состояние окружающей среды, производства, качества промышленной продукции, пищевых продуктов, медикаментов и т. д. Аналитическая химия необходима как для совершенствования современных технологий (например, микроэлектроники и сверхпроводимости), так и для выявления и минимизации неизбежных рисков, возникающих при их внедрении и эксплуатации. Поэтому студенты естественнонаучных, технологических и технических вузов – будущие специалисты не только непосредственно в секторе химического производства, но и в энергетике, строительстве, металлургии, материаловедении, стандартизации, сертификации и многих других сферах – должны в достаточной мере владеть информацией о современных методах анализа и контроля химического состава вещества, понимать специфику каждого метода, представлять границы его приме-

¹ Актуальные задачи и пути их решения // Khimie.ru. Полезная информация по химии [Электрон. ресурс]. 2012, 22 марта. Режим доступа: <http://khimie.ru/analiticheskaya-himiya/tendentsii-razvitiya-analiticheskoy-himii-v-xxi-v> (дата обращения: 27.10.2017).

ния и значимость определения химической структуры материалов, использующихся в той или иной сфере профессиональной деятельности. В. И. Вершинин, рассуждая о содержании и методическом обеспечении базового курса аналитической химии, пишет о том, что некоторым выпускникам технических специальностей, может быть, и не доведется самостоятельно выполнять химические анализы, но их деятельность, безусловно, будет включать аналитический контроль производства. «Очевидно, – продолжает ученый, – содержание курса АХ <аналитической химии> в отраслевых вузах должно быть профилировано, программы курса в разных вузах должны резко отличаться друг от друга и от университетской программы. Однако это положение не следует доводить до абсурда: внимание к профильным объектам анализа не должно противоречить рассмотрению фундаментальных вопросов при изучении методов анализа» [1].

Бурное развитие аналитических методов и технологий, значительно расширившееся в последние десятилетия поле аналитики, появление разнообразных сложных аналитических приборов и постоянное совершенствование их моделей, активное использование в анализе не только сугубо химического инструментария, но и средств и разработок из области физики, биологии, математики, метрологии, информатики – все это актуализировало проблемы методологии и методики преподавания аналитической химии в вузах.

Безусловно, курс аналитической химии должен быть максимально приближен к современному состоянию одноименной науки и отражать ее последние достижения. К сожалению, в настоящее время образовался большой разрыв между теоретическими изысканиями, передовой практикой контрольно-аналитических лабораторий и содержанием вузовской дисциплины, что снижает качество подготовки специалистов, востребованных на рынке труда. Данное несоответствие обусловлено нарастающими темпами приумножения знаний, методическими и методологическими проблемами преподавания химии: «...курс аналитической химии на химических факультетах традиционно рассматривают как составную часть общехимической подготовки студента, тогда как основные достижения аналитической химии в XX в. (например, спектроскопия ЯМР, нейтронно-активационный анализ, иммуно-анализ, хеометрика и т. п.) зачастую лежат в стороне от химии! Очевидно, здесь должно быть найдено компромиссное решение»¹. На критическое состояние методологии препода-

¹ Проблемы преподавания курса аналитической химии // Khimie.ru. Полезная информация по химии [Электрон. ресурс]. 2012, 17 марта. Режим доступа: <http://khimie.ru/analiticheskaya-himiya/tendentsii-razvitiya-analiticheskoy-himii-v-xxi-v> (дата обращения 27.10.2017).

давания химии неоднократно указывалось, например, в работах О. С. Сироткина [2, 3]. Без решения концептуальных вопросов курса аналитической химии, систематизации содержания дисциплины с учетом появившихся новых технологий «трудно добиться того, чтобы эта наука воспринималась студентами как единое целое, а не как случайное собрание разнообразных теоретических сведений о разных методах анализа.... По-видимому, в базовом курсе аналитической химии необходимо делать акцент не на детальное изучение отдельных методов анализа, а на то общее, что объединяет разные методы – как химические, так и физические. Это, например, учение об аналитическом сигнале, принципы пробоотбора, принципы сравнения методов, критерии сравнения методик, метрологические аспекты анализа и т. п.»¹.

В отраслевых вузах и на факультетах нехимического профиля технических университетов аналитическую химию нередко считают вспомогательной дисциплиной, объясняя это тем, что не готовят специалистов-аналитиков. Но базовый курс аналитической химии на это и не рассчитан – у него иные цели.

В. И. Вершинин, И. В. Власова и И. А. Никифорова выделяют следующие задачи, которые решаются в любом вузе, программы которого предусматривают изучение аналитической химии:

- ознакомление с методами химического анализа и их возможностями в будущей профессиональной сфере осваиваемой специальности;
- обоснование происхождения знаний о составе веществ и химических реакциях, формирование научного мировоззрения будущих специалистов;
- изучение материала о химических процессах, не входящего в другие учебные курсы (характеристические свойства атомов и молекул, комплексообразование в растворе, экстракция и др.), но необходимого для формирования исследовательской профессиональной компетенции;
- развитие и закрепление учебного материала других курсов, формирование знаний и умений, обеспечивающих изучение профильных дисциплин;
- развитие творческих способностей, логики мышления, аккуратности и т. п.;
- обучение технике лабораторных работ и самостоятельному выполнению анализов, работе на приборах, выбору методик, оценке точности результатов анализа [4].

¹ Там же.

Из приведенного перечня следует, что, кроме знакомства с теоретическими основами аналитической химии, при ее изучении студенты овладевают общей методологией и инструментарием проведения исследований: получают представления о механизмах физических и физико-химических процессов, учатся экспериментировать, работать с оборудованием и т. д. Это позволит выпускникам вузов в дальнейшем самостоятельно осваивать новые методы анализа и приборы применительно к различным объектам деятельности. Таким образом, в ходе теоретического и практического (например, во время лабораторных работ) постижения различных методов анализа конкретных природных и технологических объектов у бакалавров, магистрантов и аспирантов развивается научное мышление, формируются исследовательские навыки, особенно необходимые профессионалам инженерного и естественнонаучного профилей.

Обзор литературы

Актуальным вопросам методологии и методики преподавания курса аналитической химии в российских вузах посвящено немало публикаций [2, 3, 5–8 и др.].

Аспекты совершенствования и особенности химической подготовки будущих инженеров и студентов других технических специальностей также находится в поле внимания исследователей [9–13 и др.]. Интерес представляют работы, в которых излагается опыт обучения химическому анализу, накопленный в различных вузах [14–17 и др.].

Тем не менее, несмотря на обилие научно-методического материала, многие проблемы преподавания химического анализа, прежде всего на нехимических направлениях подготовки, до конца не решены. Среди таких проблем есть общая для всей системы высшего образования – огромный пласт учебной информации и сокращение аудиторных часов для ее усвоения [18]. Относительно преподавания химии один из возможных выходов видится в компактном изложении элементов содержания дисциплины в виде визуальных моделей, схем, диаграмм, таблиц. Так, при использовании УФ-, ИК-, КР- и ЯМР-спектров для идентификации и определения структуры органических и неорганических соединений широко применяются таблицы характеристических частот поглощения различных групп атомов¹.

¹ Казицина Л. А., Куплетская Н. Б. Применение УФ-, ИК- и ЯМР-спектроскопии в органической химии: учебное пособие для вузов. Москва: Высшая школа, 1971. 264 с.

На наш взгляд, удачным примером замены громоздких, длинных описаний в классических учебниках на краткие, четкие табличные указания служит разработка В. М. Новопольцевой, Е. Н. Усовой и Р. А. Полянского по теме «Титриметрические методы анализа» [19], а также объемная и содержательная слайдовая презентация начальных сведений о методах ЯМР, масс-спектрометрии и ИК-спектроскопии, автором которой является Б. Н. Тарасевич [20].

В связи с методологическими проблемами, о которых упоминалось выше, недостаточно изученными остаются вопросы формирования научного мышления студентов на основе освоения ими современных методов химического анализа вещества. Вместе с тем потенциал дисциплины для развития научно-исследовательских компетенций учащихся очевиден, так как ее изучение подразумевает экспериментальную деятельность с выдвижением гипотезы, проведением классификации, выбором методики эксперимента, прогнозированием, рефлексией и интерпретацией результатов.

В работе А. Ю. Мягкова, М. В. Григорьевой, И. В. и С. А. Журавлевых справедливо отмечается, что для успешного начала профессиональной карьеры молодым специалистам не хватает, прежде всего, практических навыков работы: «...особенностью модели обучения в российских вузах до сих пор ... является передача студентам академических (теоретических) знаний, ориентация на заучивание фактов и недостаточное внимание к развитию навыков использования теории для решения прикладных задач» [21, с. 104]. Соблюдение принципов практико-ориентированности и наглядности особенно важно в преподавании аналитической химии. Освоение обучающимися теории этой дисциплины обязательно должно сопровождаться реальными примерами вариантов применения разнообразных методов анализа в современной производственной практике и демонстрацией использования соответствующих приборов. Оснащение химических лабораторий вузов современным оборудованием – одно из основных условий качественной профессиональной подготовки выпускников. Известно, что для анализа вещества используется большое количество приборов. В настоящее время их ассортимент в вузах достаточно солиден, однако он должен обеспечивать не только проведение исследований для написания магистерских диссертаций, но и возможность обучения работе на имеющемся оборудовании большого количества студентов. Доступность приборов, предназначенных для химического анализа, не только позволяет закрепить лекционный и самостоятельно проработанный студентами материал, но и стимулирует мотивацию обучающихся к занятиям научно-исследовательской деятельностью.

Материалы и методы

В качестве методологической базы нашей работы были использованы концепции химического и естественнонаучного высшего образования; принципы и методы системного, когнитивного, практико-ориентированного и компетентностного обучения.

На основе обзора научно-теоретических источников по исследованию структуры и других характеристик вещества и имеющейся учебно-методической литературы по обучению аналитическим навыкам и умениям студентов, осваивающих дисциплины «Химия», «Общая химия», «Неорганическая химия», «Аналитическая химия», мы с дидактических позиций провели сопоставление известных методов анализа и обозначили роль каждого метода в определении структуры как индивидуального вещества, так и его раствора. Данный материал может служить основой для формирования учебных планов перечисленных дисциплин и их модулей, в отношении которых образовательные стандарты последнего поколения представляют вузам большую свободу, так как выбор методов, включаемых в курс / раздел аналитической химии, в значительной степени должен определяться профилем подготовки обучающихся.

Для эффективной перцептивной и рефлексивной деятельности учащихся нами были составлены таблицы, отражающие особенности разнообразных видов химического, физико-химического и физического анализа. Опора на принцип табличного сбора материала делает учебную информацию компактной и удобной для восприятия, дает возможность преподавателю снизить трудозатраты, а студентам – сократить время для определения актуального в данный момент метода анализа.

Результаты

При освоении аналитической химии студенты знакомятся с теоретическими основами химического анализа веществ и материалов, применяющихся в различных производственных отраслях; с традиционными и новыми методами обнаружения, идентификации, разделения и определения химических элементов и их соединений, а также с методами выявления структуры веществ.

В рабочих программах неорганической и общей химии бакалавриата и магистратуры как химических специальностей, так и нехимических (биотехнология, техносферная безопасность, оплотехника, теплоэнергетика, теплотехника, строительство и др.) имеется раздел «Строение вещества», предусматривающий изучение современных методов химического анализа. Набор данных методов весьма обширен, и каждый из них предназначен для исследования определенных свойств молекулы, поэтому умение выбрать на основе

четких принципов и критериев адекватный производственным задачам и профессиональной ситуации метод является одним из ведущих показателей профессионализма и компетентности специалиста определенного профиля.

В бакалавриате, магистратуре и в аспирантуре технических университетов методы анализа изучаются по мере их усложнения и с учетом содержания образовательных и профессиональных стандартов, логики построения учебных планов, программ, а также особенностей приобретаемой специальности.

Приступая к обучению в бакалавриате, студенты сначала повторяют, расширяют и углубляют некоторые школьные знания по химии; далее – осваивают базовые принципы работы с приборами, азы качественного и количественного видов анализа – главных средств контроля протекания химической реакции. Как известно, качественный анализ предназначен для определения и идентификации состава вещества; количественный – для выяснения содержания различных компонентов в анализируемом объекте. Познание качественных сторон вещества в сочетании с выявлением количественных соотношений характеризующих его составляющих при решении конкретной экспериментальной задачи вызывает у студентов интерес к теории изучаемой дисциплины, активизирует развитие их научного мышления.

На лекционных и практических занятиях студенты приобретают профессионально значимые умения и навыки: учатся устанавливать наличие ассоциации молекул или изменение пространственной структуры вещества; проводить измерения молекулярного веса, давления пара, температуры кипения, растворимости, поверхностного натяжения, диэлектрической постоянной, электропроводности и других постоянных того или иного объекта. Поскольку, кроме химических методов исследования строения молекул, посредством которых изучаются химические реакции исследуемой пробы с разными реагентами, в современной практике широко применяются также методы физико-химические (основанные на наблюдении за изменением физических свойств веществ в ходе химической реакции) и физические (подразумевающие измерение каких-либо физических параметров объекта), преподавателю следует, с одной стороны, показать важность комплексных естественнонаучных знаний, с другой стороны, акцентировать внимание студентов на том, что именно «аналитическая химия обеспечивает многие науки приборами и методами, оказывая значительное влияние на успехи этих наук» [22].

Анализ состоит из нескольких стадий, студенты усваивают логику организации научного эксперимента. После отбора и подготовки пробы в зависимости от поставленной задачи учащиеся производят обнаружение компонента и/или определяют его количество. С этой целью измеряется аналитический сигнал. Часто таким сигналом на заключительной

стадии анализа служит среднее из измерений физической величины, функционально связанной с содержанием определяемого компонента. Это может быть сила тока, электродвижущая сила, оптическая плотность и т. д. Каждый метод имеет свой аналитический сигнал (табл. 1).

Таблица 1

Соответствие экспериментального метода анализа измеряемой величине

Table 1

Compliance of an experimental method of the analysis to the quantity measured

Измеряемая физическая величина (аналитический сигнал)	Название метода анализа
Масса	Гравиметрия (взвешивание на весах, весовой анализ)
Объем	Титриметрия (объемный химический анализ)
Равновесный потенциал электрода	Потенциометрия
Поляризационное сопротивление электрода	Полярография
Количество электричества	Кулонометрия
Электропроводность раствора (электрическая проводимость)	Кондуктометрия
Испускание (эмиссия) фотонов	Эмиссионный спектральный анализ
Самопроизвольная радиоактивность изотопов атомов (по энергии и природе лучей)	Радиометрический (радиоактивный) анализ

Отдельный содержательный блок аналитической химии, осваиваемой в бакалавриате, составляют широко использующиеся методы оптического анализа, основанные на зависимости какого-либо оптического свойства изучаемого объекта от состава химической системы. Данные методы опираются на законы прохождения света через вещество:

- закон Бугера – Ламберта: слои данного вещества одинаковой толщины поглощают одну и ту же часть проходящего через них светового потока, т. е. интенсивность выходящего светового потока находится в экспоненциальной зависимости от толщины слоя вещества;
- закон Бера: коэффициент поглощения световой энергии прямо пропорционален концентрации в растворе вещества, поглощающего свет, т. е. зависимость имеет линейный характер;
- закон Бугера – Ламберта – Бера: интенсивность выходящего светового потока находится в экспоненциальной зависимости от толщины поглощающего слоя и концентрации вещества в растворе.

Методы оптического анализа, которые подлежат изучению в бакалавриате, даны в табл. 2.

Таблица 2

Соответствие оптического метода анализа измеряемой физической величине

Table 2

Compliance of an optical method of the analysis to the measured physical quantity

Измеряемая физическая величина (аналитический сигнал)	Название метода анализа
Поглощение электромагнитного излучения: • атомами световой энергии; • молекулами света; • молекулами или ионами в ультрафиолетовой области света; • молекулами или ионами в видимой области света; • молекулами или ионами в инфракрасной области света	Адсорбционные оптические методы: • атомно-абсорбционный анализ; • молекулярно-абсорбционный анализ; • спектрофотометрия; • колориметрия; • ИК-спектрофотометрия
Рассеивание световой энергии взвешенными в растворе частицами	Турбидиметрический и нефелометрический виды анализа
Излучение в результате выделения энергии возбужденными молекулами	Люминесцентный анализ
Преломление света при прохождении через раствор	Рефрактометрический анализ
Использование плоскополяризованного света	Поляриметрический анализ

Тестовый министерский контроль по программе «Общая химия», который проводится, как правило, на 1-м или 2-м курсе обучения, предполагает среди прочего проверку понимания студентами указанных выше законов прохождения света через вещество, а также владения учащимися информацией о вариантах оптического анализа. В частности, тестовые задания диагностируют знания о рефрактометрическом и фотометрическом методах, что подразумевает усвоенное учащимися развернутое содержание следующих положений:

• *рефрактометрические методы анализа:*

- рефракция – преломление света на границе раздела двух сред, различных по оптической плотности;
- рефрактометрия – измерение преломления света.

Методы анализа основаны на пропорциональной зависимости угла, или показателя преломления света, от состава системы, т. е. от количественного содержания определяемого вещества. Показатель преломления (коэффициент рефракции) – константа индивидуального соединения;

- *фотометрические методы анализа:*

- фотокolorиметрия – поглощение полихроматического света;
- спектрофотометрия – поглощение монохроматического спектра.

Оба метода основаны на зависимости величины, характеризующей светопоглощение, от концентрации определяемого вещества в растворе. В фотокolorиметрии используют видимый свет, что дает возможность анализировать окрашенные растворы. В спектрофотометрии можно анализировать неокрашенные растворы при работе в ультрафиолетовой области.

Рассмотрим более подробно некоторые спектроскопические методы, азами которых должны владеть выпускники бакалавриата специальностей, программы подготовки которых включают химические дисциплины.

Область электромагнитного спектра, изучаемая при помощи спектральных приборов, осуществляющих разложение излучения, называется областью оптических спектров, которые простираются от далекой, граничащей с микроволновой инфракрасной области до рентгеновских лучей. У оптических спектров общие законы поглощения излучения (законы Бутера – Ламберта – Бера), они определяют соотношение между величиной поглощения и количеством поглощающего вещества. В спектре наблюдаются линии, так как энергия электронов квантована. Это означает, что в атоме существуют уровни со строго определенной энергией и электроны могут двигаться в атоме, только перескакивая с одного энергетического уровня на другой. При взаимодействии вещества (атома, молекулы, иона) с электромагнитным излучением происходит изменение энергии вещества (ΔE): $\Delta E = E_k - E_n$, где E_k и E_n – энергия конечного и начального состояния. Если значение ΔE положительное, энергия поглощается, если отрицательное – она, наоборот, излучается. В первом случае мы имеем дело со спектрами поглощения, во втором – с эмиссионными спектрами. Разница энергии двух уровней (ΔE) связана с частотой излучения (ν): $\Delta E = h\nu$, где h – постоянная Планка. Частота излучения, в свою очередь, связана с длиной волны соотношением: $\nu = c/\lambda$, где c – скорость света, λ – длина волны.

Волновой параметр электромагнитного излучения может быть выражен, во-первых, длиной волны (λ) по всей области оптических спектров в зависимости от области исследования (в ангстремах (А), нанометрах (нм) или миллимикронах (ммк) для видимой и ультрафиолетовой областей; в микронах (мк) для инфракрасной); во-вторых, частотой колебания $\lambda \text{ сек}^{-1}$,

Гц, МГц. Часто используют волновое число $1/\lambda$, измеряемое в обратных сантиметрах см^{-1} .

Следует обратить внимание студентов на то, что излучение в областях различных длин волн приводит к разным изменениям состояния облучаемого вещества. Причем разные части молекул взаимодействуют с излучением различных длин волн (рис. 1).



Рис. 1. Зависимость состояния облучаемого вещества от величины длины волны [23, 24]

Fig. 1. Dependence of a condition of the irradiated substance from the size of the wavelength [23, 24]

Различные химические вещества имеют разное строение, поэтому по-разному поглощают излучение. Анализ спектра вещества позволяет обучающимся сделать вывод об особенностях химического строения исследуемого образца.

В зависимости от требуемой для исследования образца длины волны применяют разное оборудование для более точной работы в выбранном диапазоне длин волн, но это приборы одного типа – спектрофотометры. Используемые экспериментальные методы значительно изменяются при переходе из одной области к другой, однако основные принципы остаются теми же.

Для организации в учебной лаборатории наблюдения спектров поглощения при любых длинах волн необходимы следующие основные элементы: источник света (излучения); кювета с образцом; диспергирующее устройство (призма или решетка) для выделения монохроматического излучения; приемник (термопара или фотоэлемент), с помощью которого измеряется интенсивность излучения, прошедшего через образец; регистрирующее устройство.

В любом спектроскопическом методе образцу, помещенному в спектрометр, передают энергию в виде определенного излучения (например,

электромагнитного). Источник света создает излучение, частоту которого можно варьировать. Проходя через кювету с исследуемым образцом, излучение частично поглощается, а частично – пропускается, что детектируется и записывается регистрирующим устройством в виде спектра-графика зависимости поглощения/ пропускания излучения от его частоты. Процессы поглощения энергии образцом отображаются как спектры абсорбции (поглощения). Поскольку переданная образцу энергия приводит его в возбужденное состояние, исследуемый объект сам может излучать энергию. Этот процесс также записывается самописцем прибора в виде спектров излучения (эмиссии).

Спектр поглощения может быть охарактеризован следующими величинами:

- длинами и интенсивностью волн в максимумах поглощения;
- длинами и интенсивностью волн в минимумах кривой поглощения;
- длинами волн, отвечающих перегибам (инфлексиям) кривой поглощения, и интенсивностью для этих точек.

Видов спектроскопического анализа вещества и соответствующих им приборов для осуществления такого анализа достаточно много. С помощью спектроскопических методов исследуется структура как чистых веществ, так и растворов. Если в бакалавриате даются общие представления об основных принципах и аппаратном обеспечении современных спектроскопических методов анализа, то в магистратуре студенты получают более глубокие знания о них и, кроме того, учатся самостоятельно планировать, организовывать, проводить спектроскопические исследования и обрабатывать полученные результаты. Некоторые методы анализа, подлежащие изучению в рамках магистерских спецкурсов по химии, представлены в табл. 3.

Таблица 3

Спектроскопические методы, рекомендуемые для изучения
в магистратуре

Table 3

The spectroscopic methods recommended for studying a Master's degree
programme

Название метода	Применение
1	2
Электронная спектроскопия, или спектроскопия видимой и ультрафиолетовой (УФ) облас-	Спектроскопия поглощения (100–200 нм) – вакуумный УФ; 200–800 нм – ближний УФ – и видимая область используются для исследования переходов между электронными энергетическими уровнями в атомах и молекулах, т. е. для изучения электронной структуры ато-

1	2
тей	мов и молекул; а также как индикаторы в кислотно-основных процессах и как критерии количественного анализа в неорганической и органической химии
Дальняя инфракрасная (ИФ) спектроскопия	Инфракрасная спектроскопия используется в области волновых чисел менее 200 см^{-1}
Флуоресцентная спектроскопия	Задействуется при исследовании флуоресцирующих, фосфоресцирующих и люминесцирующих веществ. Флуоресценция – это испускание света, которое может происходить после поглощения УФ или видимого излучения. Длина волны испускаемого света обычно превышает длину волны поглощенного излучения
Инфракрасная (ИК) спектроскопия	Вариант колебательной спектроскопии; величина поглощения обычно записывается в интервале $200\text{--}4000\text{ см}^{-1}$. Используется для идентификации (анализ состава и структуры молекул, функциональных групп) веществ, поскольку ИК-спектр вещества, как правило, уникален
Рамановская (комбинационного рассеяния – КР) спектроскопия	Вариант колебательной спектроскопии, имеющий, в отличие от ИК-спектроскопии, другие правила отбора проб. Некоторые колебания, неактивные в ИК-спектрах, активны в рамановских спектрах
Микроволновая спектроскопия	Спектроскопия поглощения, основанная на колебаниях атомов в кристаллической решетке. Применяется для исследования вращательных спектров
Спектроскопия ядерного магнитного резонанса (ЯМР)	Поглощение или пропускание радиочастотного излучения позволяют наблюдать состояние спинов ядер. Переходы между ядерными спиновыми состояниями требуют небольших затрат энергии (менее $0,01\text{ кДж/моль}$). Метод применяют для выявления молекулярных структур и исследования динамического поведения веществ в растворе и твердой фазе. Определяют число и положение атомов с нечетными массовыми числами в молекулах (^1H , ^{13}C , ^{15}N , ^{19}F , ^{31}P)
Спектроскопия электронного парамагнитного (спинового) резонанса (ЭПР)	Используется для исследования вещества с одним или несколькими неспаренными электронами
Фотоэлектронная спектроскопия (ФЭС)	Спектроскопия поглощения, используемая для изучения энергетических состояний заполненных атомных и молекулярных орбиталей
Рентгеноспектроскопия	Фиксирует изменения в энергетическом состоянии внутренних электронов атомов
Мессбауэровская (γ -резонансная)	Выявляет изменения в энергетическом состоянии ядер; поглощения γ -излучения некоторыми ядрами

1	2
спектроскопия	(например, ^{57}Fe и ^{197}Au). Используется для определения химического окружения атомов, в том числе степени окисления
Масс-спектрометрия	Замеряются относительная атомная масса элементов, масса изотопов, масса фрагментов, на которые распадаются частицы исследуемого соединения при ионизации в электронном пучке

Выпускники не только химических вузов и факультетов, но и других специальностей, чьи дипломные работы и дальнейшая профессиональная деятельность подразумевают изучение и контроль состава исходных и/или полученных веществ, должны обладать знаниями о таких широко распространенных физических методах измерения, как спектроскопия и дифракционные (рентгено-, нейтроно- и электронографические) методы, посредством которых определяются углы и расстояния между атомами, участвующими в образовании водородной связи.

Наиболее востребованными спектроскопическими методами являются электронная спектроскопия и ИК-спектроскопия¹. Кратко опишем суть этих методов и приведем реальные примеры их применения, которые можно использовать в качестве иллюстраций в учебной практике.

Электронная спектроскопия. Поглощение веществ в диапазоне 1000–10000 Å обусловлено изменением электронного состояния молекулы. Спектры поглощения в УФ и видимой областях, получившие название электронных, возникают в результате переходов электронов с одного энергетического уровня на другие вследствие поглощения излучения. Известно, что каждый электрон в атоме находится на определенном энергетическом уровне. Когда образец возбужден (при поглощении излучения), электроны в атоме обладают избытком энергии и либо быстрее двигаются по орбитали, либо удаляются на большее расстояние от ядра. В любом случае электроны перемещаются на более высокие энергетические уровни. Через некоторое время атом отдает энергию в виде электромагнитного излучения, а электроны снова переходят на нижние энергетические уровни. На спектрах излучения (спектрах эмиссии) видно, на каких длинах волн (или при какой частоте) энергия излучается образцом. Поскольку каждый элемент обладает собственным спектром, отличным от спектров других элементов, эмиссионные спектры используют для идентификации элементов.

¹ Казицина Л. А., Куплетская Н. Б. Применение УФ-, ИК- и ЯМР-спектроскопии в органической химии: учебное пособие для вузов. Москва: Высшая школа, 1971. 264 с.

Примером варианта знакомства студентов с применением эмиссионных спектров может служить лабораторная работа «Пламенные тесты», которая проводится в рамках практикума на 1-м курсе металлургического факультета Уральского федерального университета (УрФУ) [25]. Учащимся предлагаются задания по качественной идентификации металлов первой и второй групп таблицы Д. И. Менделеева. Эмиссионные спектры получают при высоких температурах, когда молекулы вещества распадаются на отдельные атомы или ионы. Студенты наносят на проволоку небольшое количество элемента, его соединения или насыщенного раствора соединения и нагревают в пламени спиртовки. По цвету пламени выявляется используемый элемент: вещества, содержащие натрий, окрашивают бесцветный цвет пламени спирта в оранжевый; соли калия – в сиреневый; соли кальция – в кирпичный; соли стронция – в красный; соли бария – в зеленый. Далее определяется энергия активации (возбуждения) электронов атомов исследуемых металлов. Например, исходя из того, что длина волны видимого света спектра испускания красного цвета соответствует 650 нм, рассчитывают энергию активации E_a электронов в атомах или ионах исследуемого металла по формуле Планка: $E_a = h\nu = h(c/\lambda)$, где $h = 6,6 \cdot 10^{-34}$ Дж/с – постоянная Планка; $c = 3 \cdot 10^8$ м/с – скорость света; λ – длина волны, нм.

Все органические молекулы поглощают излучение в УФ-области спектра. Длина волны, на которой происходит абсорбция, зависит от наличия в веществе двойных связей и от их числа. При поглощении света или УФ-излучения внешние (валентные) электроны молекулы переходят из своих основных (обычных) энергетических состояний в возбужденные. В ближней УФ-области этот процесс всегда связан с наличием ненасыщенных групп (хромофоров) или атомов, несущих неподеленные пары электронов. Насыщенные углеводороды, у которых нет этих элементов структуры, поглощают излучение только в дальней УФ-области. Обычно у окрашенных соединений данный процесс происходит в видимой части спектра, у неокрашенных веществ – в его УФ-области.

Электронная спектроскопия дает следующие возможности для определения структуры органических соединений:

- по УФ-спектрам легко отличить соединения, содержащие сопряженные и несопряженные связи;
- по значению максимума полосы поглощения устанавливается структура сопряженной системы в предельных углеводородах и карбонильных соединениях;
- нарушения сопряжения, детерминированные стерическими факторами, приводят к изменению спектров поглощения;

• УФ-спектроскопия может быть использована для отличия цис- от транс-изомеров.

Пример использования УФ-спектроскопии. В одной из публикаций «Коллоидного журнала» предлагается способ конструирования «двумерных» полимер-металлических нанокомпозитов – высокоупорядоченных ансамблей наночастиц металлов, встроенных на заданную глубину в поверхностный слой полимерной матрицы [26]. С помощью УФ-спектроскопии установлено, что по мере погружения ансамбля наночастиц в полимер происходит монотонный bathochromic сдвиг максимума его локализованного поверхностного плазмонного резонанса, обусловленного ростом эффективной диэлектрической проницаемости окружающей наночастицы среды (рис. 2).

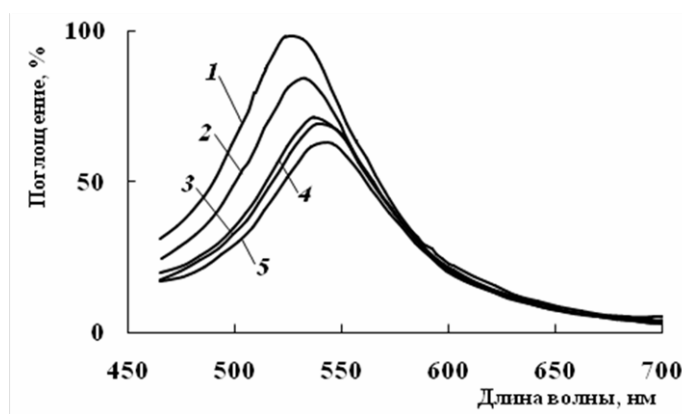


Рис. 2. Спектры поглощения ансамбля наночастиц золота при разной глубине его погружения в поверхностный слой: 1–0 нм (исходный ансамбль), 2–5, 3–10, 4–11, 5–13 нм

Fig. 2. Ranges of absorption of nanoparticles ensemble of gold with a different depth of its immersion in a surface coat: 1–0 nanometers (initial ensemble), 2–5, 3–10, 4–11, 5–13 nanometers

ИК-спектроскопия. В молекулах, кроме движения электронов, возможно перемещение ядер друг относительно друга, т. е. в молекуле могут возникать колебания, и она может вращаться. Эти движения тоже квантуются. Однако ввиду значительно большей массы частиц (молекулы, иона) по сравнению с атомом энергетические уровни лежат очень близко друг к другу. Меньше всего различаются уровни вращения молекул. Область электромагнитного спектра от 5000 до 200 см^{-1} связана с колебаниями атомов в молекуле. Экспериментально эта область исследуется методом ИК-спектроскопии и при помощи спектров комбинационного рассеяния (КР-спектроскопии). Физическая природа этих спектров различна. ИК-спектры абсорбции обусловлены перехо-

дами между двумя колебательными уровнями молекулы, находящейся в основном электронном состоянии. Энергия в ИК-области поглощается только такими колебаниями, при которых изменяется дипольный момент молекул. Спектры КР зависят от поляризуемости молекулы.

Так как метод ИК-спектроскопии основан на изучении колебаний больших частей молекулы, а также одних атомов вещества относительно других атомов, соединенных между собой химической связью, и поскольку энергия колебаний квантована, поглощению каждого вида химических связей соответствует своя собственная полоса в спектре. Диапазон $3700\text{--}1500\text{ см}^{-1}$ – область функциональных групп, или характеристических полос. Полосы поглощения ниже 1500 см^{-1} – область «отпечатка пальцев», которая часто используется для идентификации веществ.

ИК-спектроскопия в органической химии употребляется для идентификации двух образцов прямым сравнением двух спектров; определения примесей; качественного контроля реакций; количественного анализа; определения структуры вещества; а также для анализа конформационных, таутомерных равновесий, процессов сольватации и образования водородных связей.

Пример использования ИК-спектроскопии. Исследование термообработанных образцов, исходного каолина месторождения Журавлиный Лог (Челябинская область) и промышленного метакhaoлина методами ИК-спектроскопии и рентгенофазного анализа [27] позволило установить оптимальные параметры обжига каолина (температура 850°C ; время изотермической выдержки 30 минут). Рентгенограммы и ИК-спектры метакhaoлина, обожженного при разных температурах и разном времени выдержки приведены на рис. 3 и 4.



Рис. 3. Рентгенограммы метакhaoлина (угол скольжения лучей является дополнительным до 90° к углу отражения)

Fig. 3. Roentgenograms of a metakaolin (the angle of sliding of beams is additional to 90° to the angle of reflection)

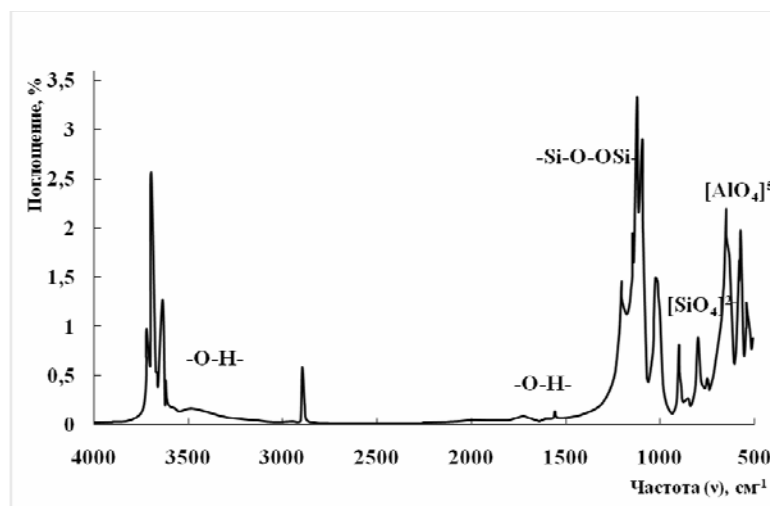


Рис. 4. Инфракрасные спектрограммы исходного каолина месторождения Журавлиный Лог

Fig. 4. Infrared spectrograms of an initial kaolin deposit Crane Log

Обратимся к более сложным спектроскопическим методам анализа – ЯМР-спектроскопии и масс-спектроскопии, подробное изучение которых целесообразно в рамках учебных программ магистратуры.

Ядерный магнитный резонанс (ЯМР). В конструкции спектрометра ЯМР есть все элементы стандартного спектрофотометра, но функцию, аналогичную призме в оптической спектроскопии, выполняет магнит. Изменение энергии исследуемого объекта ($\Delta E = E_k - E_n$, где E_k и E_n – энергия конечного и начального состояния) рассматривается в этом случае в связи с его магнитными свойствами, т. е. переходом ядер с одного магнитного уровня на другой (переход из высшего состояния в низшее – релаксация ядер). В органической химии в настоящее время активно применяется ядерный магнитный резонанс на протонах, или протонный магнитный резонанс – ПМР (может обозначаться как ЯМР¹H). Протон является единственным магнитным ядром, встречающимся почти во всех органических соединениях, поэтому популярность метода быстро растет.

Примером использования метода ЯМР может служить описанное в «Energy and Fuels» выявление фрактальных характеристик внутрипористых изломов в каменных углях и антрацитах по флюидным показателям [28].

Масс-спектрометрия. В масс-спектрометре излучаемый газ подвергается воздействию источника, выбивающего электроны из частиц газа и превращающего их в положительные ионы. Масс-спектроскопия ос-

нована на том, что движущиеся заряженные частицы отклоняются магнитным полем. Степень отклонения зависит от массы частицы. При постепенном увеличении напряженности поля в масс-спектрометре в детектор последовательно попадают частицы с возрастающей массой. Каждому изотопу соответствует свой пик, показывающий массу иона и содержание каждого изотопа в смеси. Метод применяют в основном для измерения относительных изотопных масс и изотопного содержания элементов, а также выявления относительных молекулярных масс и структуры органических соединений [29].

Пример использования масс-спектропии. В одной из статей журнала «Нефтехимия», опубликованной в прошлом году, показано, как с помощью данного метода определяется содержание молибдена и вольфрама на поверхности синтезированных катализаторов [30] (рис. 5).

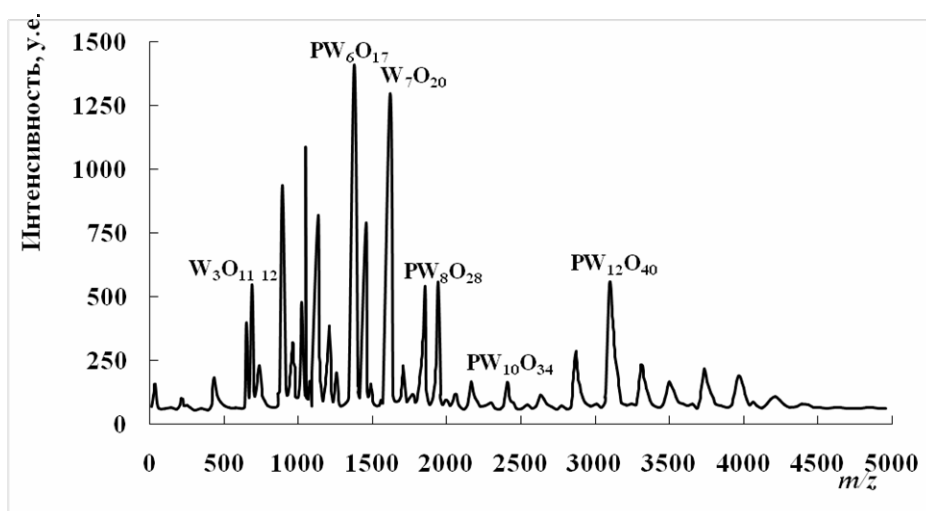


Рис. 5. Масс-спектр соединений вольфрама на поверхности катализатора.

Полученный в координатах интенсивность – масса/заряд (m/z) масс-спектр показывает наличие на поверхности катализатора разнообразных соединений вольфрама, относительное содержание которых можно рассчитать по высоте пика

Fig. 5. Mass spectrum of compounds of tungsten on the surface of the catalyst. Received at coordinates intensity – a weight/charge (m/z) the mass spectrum shows existence on the surface of the catalyst of various compounds of tungsten which abundance ratio can be calculated on peak height

Следует обращать внимание обучающихся, что каждый из методов анализа дает лишь определенную часть информации об изучаемом объек-

те, поэтому при исследовании различных веществ в настоящее время, как правило, используется совокупность методик. Так, в работе М. А. Турсунова, К. Г. Авезова, Б. Б. Умарова и Н. А. Парпиева комплексы никеля с арилгидразонами этилового эфира 5,5-диметил-2,4-диоксогексановой кислоты изучались на основе элементного анализа, ПМР- и ИК-спектроскопии [31]. А, например, в публикации «О разграничении семиграфита и графита по данным спектроскопии Рамана» описано исследование образцов посредством оптической микроскопии, рентгеновской дифракции, просвечивающей электронной микроскопии с высоким разрешением (HRTEM), электронной дифракции выбранных областей (SAED) и КР-спектроскопии (спектроскопией Рамана – CP) [32].

Заключение

Аналитическая химия как учебная дисциплина или как часть общей химической профессиональной подготовки в вузе обладает большими ресурсами для формирования у выпускников компонентов исследовательской компетенции, поскольку изучение данного прикладного раздела химической науки априори включает учебную опытно-экспериментальную деятельность. Мы убеждены, что обдуманно организованный эксперимент, проведенный учащимся собственными руками на современных приборах, – самый действенный и результативный способ развития научного мышления. Овладевая методами анализа структуры вещества, студенты приобретают исследовательские умения и навыки: учатся обнаруживать и решать проблемы, выдвигать и обосновывать гипотезы, формулировать цели и планировать свои действия, собирать и анализировать необходимую информацию, выбирать оптимальные средства и способы выполнения поставленной задачи и т. д.

Однако и теоретическое освоение аналитической химии при соблюдении баланса между практико-ориентированностью и фундаментальностью содержательного наполнения курса тоже может стимулировать становление научного мышления будущих специалистов и мотивировать их к исследовательской работе. Для этого лекционные объяснения следует сопровождать иллюстрациями достижений в этой области знания и разбором примеров реального применения разнообразных методов анализа в современной производственной практике. Вариативность программ, инновационные педагогические и информационно-коммуникационные технологии позволяют преподавателю актуализировать учебный материал с учетом профиля и уровня подготовки студентов.

В бакалавриате должны быть усвоены общие вопросы аналитической химии, рассмотрены ее основные понятия и наиболее простые, часто

использующиеся для решения производственных (инженерных, экологических, медицинских и др.) задач методики анализа. Студенты получают начальные сведения о классификации его (анализа) многообразных видов, средств и техник, а также о принципах их выбора в зависимости от особенностей изучаемых объектов.

Подготовка в магистратуре предполагает не только более глубокое погружение в материал, знакомство с более сложными методами анализа, но и обретение опыта решения научных проблем, относительно самостоятельное осуществление исследований с последующей обработкой и интерпретацией полученных результатов.

Работа аспирантов естественнонаучных, технологических и технических специальностей, как правило, связана с проведением большого объема анализов на современном сложном оборудовании.

Независимо от ступени высшего образования изучение теории химического анализа и практика работы на соответствующих приборах дают учащимся представления о методах структурного исследования, тренируют и совершенствуют их научное мышление, а выпускникам вузов в условиях массового распространения высоких технологий и востребованности профессионалов, обладающих аналитическими качествами, дают возможность быстрее и успешнее адаптироваться на рабочих местах.

Список использованных источников

1. Вершинин В. И. Аналитическая химия в системе взаимосвязей учебных дисциплин в классических университетах // Журнал аналитической химии. 2003. Т. 58, № 1. С. 97–104.
2. Сироткин О. С., Сироткин Р. О. О концепции химического образования // Высшее образование в России. 2001. № 6. С. 137–139.
3. Сироткин О. С. Традиционная методология преподавания химии: проблемы, недостатки и причины ее использования в XXI веке (обзор) // Инновации в преподавании химии: сборник научных и научно-методических трудов V Международной научно-практической конференции, г. Казань, 27–28 марта 2014 года / под ред. С. И. Гильманшиной. Казань: Казанский университет, 2014. С. 272–277.
4. Вершинин В. И., Власова И. В., Никифорова И. А. Аналитическая химия: учебник для студентов учреждений высшего профессионального образования. Москва: Академия, 2011. 448 с.
5. Золотов Ю. А. О преподавании аналитической химии // Журнал аналитической химии – Journal of Analytical Chemistry [Электрон. ресурс]. 2011. Т. 66, № 3. С. 3. Режим доступа: <http://www.zhakh.ru>; <http://жах.рф> (дата обращения 03.11.2017).
6. Мычко Д. И. Вопросы методологии и истории химии: от теории научного метода к методике обучения: пособие. Минск: БГУ, 2014. 295 с.

7. Имашев У. Б., Журкин О. П., Бежан Д. И. Методологические особенности изложения трудновоспринимаемых студентами тем в курсе органической химии // Башкирский химический журнал. 2010. № 2. С. 43–49.
8. Вершинин В. И. Содержание и методическое обеспечение базового курса аналитической химии // Журнал аналитической химии. 2005. Т. 60, № 9. С. 992–1003.
9. Иванова Т. В. Методика преподавания химии в техническом вузе // Педагогическое образование и наука. 2011. № 10. С. 100–102.
10. Крахт А. Н. Некоторые особенности преподавания химии в техническом вузе // Современные наукоемкие технологии. 2006. № 3. С. 78–79.
11. Глаголева М. А., Ананьева Е. А. Особенности преподавания химии в физическом вузе // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 2. С. 270.
12. Тарасенко О. В., Пакузина А. П. Особенности преподавания дисциплины «Химия» на направлениях инженерного профиля // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2014. № 2/2. С. 189–192.
13. Боркеев Б. М., Салиева К. Т. Совершенствование методики преподавания химии для подготовки инженеров // Международный журнал экспериментального образования. 2012. № 6. С. 96–98.
14. Болвако А. К., Радион Е. В. Организация учебного процесса при изучении аналитической химии в Белорусском государственном технологическом университете // Информатизация образования и науки. 2013. № 2 (18). С. 121–132.
15. Полунина О. А. Преподавание дисциплины «Аналитическая химия и физико-химические методы анализа» в СибУПК // Актуальные вопросы моделирования российского образования: материалы XVII Международной научно-практической конференции. Москва, 2014. С. 240–246.
16. Тихомирова И. Ю., Шилов С. М. Опыт преподавания аналитической химии в РГПУ им. А. И. Герцена // Актуальные проблемы модернизации химического и естественнонаучного образования: материалы 54-й Всероссийской научно-практической конференции химиков с международным участием. С.-Петербург: РГПУ, 2007. С. 220–221.
17. Чернова Р. К., Кулапина Е. Г. Преподавание аналитической химии на химическом факультете Саратовского государственного университета // Журнал аналитической химии. 2003. Т. 58, № 9. С. 998–1000.
18. Прохоренко Л. А., Незаментимова Л. Е. Преподавание общей химии в условиях сокращения объема часов на изучение дисциплины // Проблемы высшего образования. 2012. № 1. С. 211–213.
19. Новопольцева В. М., Усова Е. Н., Полянсков Р. А. Приемы рационального изучения некоторых тем аналитической химии // Интеграция образования. 2004. № 4 (37). С. 55–59.
20. Тарасевич Б. Н. Первоначальные сведения о методах ЯМР, масс-спектрометрии и ИК-спектроскопии: учебные материалы [Электрон. ресурс] / МГУ им. М. В. Ломоносова, кафедра органической химии. Режим доступа: http://www.chem.msu.ru/rus/teaching/tarasevich/Tarasevich_NMR_3.pdf

21. Мягков А. Ю., Григорьева М. В., Журавлева И. В., Журавлева С. Л. Производственная практика глазами студентов технического вуза (по материалам социологического исследования) // Образование и наука. 2015. № 4 (123). С. 100–113.
22. Золотов Ю. А. О химическом анализе и о том, что вокруг него. Москва: Наука, 2004. 477 с.
23. Льюис М. Химия. Школьный курс в 100 таблицах. Москва: АСТ-Пресс, 1999. 128 с.
24. Льюис М. Химия в диаграммах. Москва: АСТ; Астрель, 2004. 160 с. (Оксфордские учебные пособия).
25. Байкова Л. А., Косарева М. А. Химия металлов: учебно-методическое пособие. Екатеринбург: УрФУ, 2015. 100 с.
26. Терехин В. В., Зайцева А. В., Дементьева О. В., Рудой В. М. Новые «двумерные» композиты полимер-металл на основе высокоупорядоченных ансамблей наночастиц: конструирование и оптические свойства // Коллоидный журнал. 2013. Т. 75, № 6. С. 786–791.
27. Потапова Е. Н., Манушина А. С., Урбанов Ф. В. Влияние термообработки каолина на его свойства // Новые огнеупоры. 2017. № 10. С. 26–30.
28. Ouyang Z., Liu D., Cai Y., Yao Y Investigating the Fractal Characteristics of Pore-fractures in Bituminous Coals and Anthracites through Fluid Flow Behavior // Energy and Fuels. 2016. Vol. 30, № 12. P. 10348–10357.
29. Лебедев А. Т. Масс-спектропия в органической химии: 2-е изд., перераб. и доп. Москва: Техносфера, 2015. 704 с.
30. Тарханова И. Г., Анисимов Ф. В., Буряк А. К., Брыжин Ф. Ф., Али-Заде А. Г., Акопян А. В., Зеликман В. М. Строение и каталитические свойства иммобилизованных ионных жидкостей на основе Мо- и W-содержащих гетерополиоксидов в окислении тиофена // Нефтехимия. 2017. Т. 57, № 5. С. 536–544.
31. Турсунов М. А., Авезов К. Г., Умаров Б. Б., Парпиев Н. А. Спектры ПМР и кристаллическая структура комплекса никеля (II) с ароилгидразонами этилового эфира 5,5-диметил-2,4-диоксогексановой кислоты // Координационная химия. 2017. Т. 43, № 2. С. 99–102.
32. Rantitsch G., Lammerer W., Fisslthaler E., et al. On the discrimination of semigraphite and draphite by Raman Specroscopy // International Journal of Coal Geology. 2016. Vol. 159.1, April. P. 48–56.
33. Марков В. Ф., Маскаева Л. Н., Косарева М. А. Вода, водные растворы: эффекты разбавления и памяти. Екатеринбург: Уральский институт ГПС МЧС России, 2016. 204 с.

References

1. Vershinin V. I. Analytical Chemistry in the system of interrelations of subject matters at the classical universities. *Zhurnal analiticheskoy himii = Journal of Analytical Chemistry*. 2003; 58 (1): 97–104. (In Russ.)
2. Sirotkin O. S., Sirotkin R. O. About the concept of chemical education. *Vysshee obrazovanie v Rossii = Higher Education in Russia*. 2001; 6: 137–139. (In Russ.)

3. Sirotkin O. S. Traditional methodology of teaching Chemistry: Problems, shortcomings and the reasons of her use in the 21st century (review). In: *Innovacii v prepodavanii himii: sbornik nauchnyh i nauchno-metodicheskikh trudov V Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii, g. Kazan', 27–28 marta 2014 goda* = *Innovations in Teaching Chemistry: Collection of Scientific and Methodical works of the 5th International Scientific and Practical Conference*; 2011 Mar 27–28; Kazan. Ed. by S. I. Gil'manshina. Kazan: Kazan University; 2014. p. 272–277. (In Russ.)
4. Vershinin V. I., Vlasova I. V., Nikiforova I. A. *Analiticheskaja himija* = *Analytical Chemistry*. Moscow: Publishing House Akademija; 2011. 448 p. (In Russ.)
5. Zolotov Ju. A. About teaching analytical chemistry. *Zhurnal analiticheskoy himii – Journal of Analytical Chemistry* = *Journal of Analytical Chemistry* [Internet]. 2011 [cited 2017 Nov 03]; 66 (3): 3. Available from: <http://www.zhakh.ru>; <http://zhah.rf> (In Russ.)
6. Mychko D. I. *Voprosy metodologii i istorii himii: ot teorii nauchnogo metoda k metodike obuchenija* = *Questions of methodology and history of Chemistry: From the theory of a scientific method to a training technique*. Minsk: Belarusian State University; 2014. 295 p. (In Russ.)
7. Imashev U. B., Zhurkin O. P., Bezhan D. I. Methodological features of presentation of the incomprehensible topics in the course of Organic Chemistry. *Bashkirskij himicheskij zhurnal* = *Bashkir Chemical Journal*. 2010; 2: 43–49. (In Russ.)
8. Vershinin V. I. Content and methodical guidelines for the basic course of Analytical Chemistry. *Zhurnal analiticheskoy himii* = *Journal of Analytical Chemistry*. 2005; 60 (9): 992–1003. (In Russ.)
9. Ivanova T. V. A technique of teaching Chemistry in technical college. *Pedagogicheskoe obrazovanie i nauka* = *Pedagogical Education and Science*. 2011; 10: 100–102. (In Russ.)
10. Kraht L. N. Some features of teaching Chemistry in technical college. *Sovremennye naukoemkie tehnologii* = *Modern High Technologies*. 2006; 3: 78–79. (In Russ.)
11. Glagoleva M. A., Anan'eva E. A. Features of teaching Chemistry in physical higher education institution. *Sovremennye problemy nauki i obrazovanija* = *Modern Problems of Science and Education*. 2015; 2: 270. (In Russ.)
12. Tarasenko O. V., Pakusina A. P. Features of teaching discipline “Chemistry” in engineering specialties. *Aktual'nye problemy gumanitarnyh i estestvennyh nauk* = *Current Problems of Humanitarian and Natural Sciences*. 2014; 2/2: 189–192. (In Russ.)
13. Borkoev B. M., Salieva K. T. Improvement of a technique of teaching Chemistry for training of engineers. *Mezhdunarodnyj zhurnal jeksperimental'nogo obrazovanija* = *International Journal of Experimental Education*. 2012; 6: 96–98. (In Russ.)
14. Bolvako A. K., Radion E. V. Organization of educational process when studying Analytical Chemistry at the Belarusian State Technological University.

Informatizacija obrazovanja i nauki = *Informatization of Science and Education*. 2013; 2 (18): 121–132. (In Russ.)

15. Polunina O. A. Teaching discipline “Analytical Chemistry and Physico-Chemical Methods of the Analysis” in the Siberian University of Consumer Cooperation. In: *Aktual'nye voprosy modelirovaniya rossijskogo obrazovanija: materialy XVII Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii* = *Topical Issues of Modeling of the Russian Education: Materials of the 17th International Scientific and Practical Conference*. Moscow; 2014. p. 240–246. (In Russ.)

16. Tihomirova I. Ju., Shilov S. M. Experience of teaching Analytical Chemistry in Herzen State Pedagogical University of Russia. In: *Aktual'nye problemy modernizacii himicheskogo i estestvenno-nauchnogo obrazovanija: materialy 54-j Vserossijskoj nauchno-prakticheskoj konferencii himikov s mezhdunarodnym uchastiem* = *Current Problems of Modernization of Chemical and Natural-Science Education: Materials of the 54th All-Russian Scientific and Practical Conference of Chemists with the International Participation*. St.-Petersburg: Herzen State Pedagogical University of Russia; 2007. p. 220–221. (In Russ.)

17. Chernova R. K., Kulapina E. G. Teaching Analytical Chemistry at chemical faculty of Saratov State University. *Zhurnal analiticheskoi himii* = *Journal of Analytical Chemistry*. 2003; 58 (9): 998–1000. (In Russ.)

18. Prohorenko L. A., Nezamentimova L. E. Teaching General Chemistry in the conditions of reduction of hours on studying of the discipline. *Problemy vysshego obrazovanija* = *Problems of the Higher Education*. 2012; 1: 211–213. (In Russ.)

19. Novopoltseva V. M., Usova E. N., Poljanskov R. A. Methods of rational studying of some subjects of Analytical Chemistry. *Integracija obrazovanija* = *Integration of Education*. 2004; 4 (37): 55–59. (In Russ.)

20. Tarasevich B. N. Pervonachal'nye svedenija o metodah JaMR, mass-spektrometrii i IK-spektroskopii = Initial data on the nuclear magnetic resonances methods, mass spectrometry and IR-spectroscopy [Internet]. MGU im. M. V. Lomonosova, kafedra organicheskoi himii = Lomonosov Moscow State University, department of organic chemistry. Available from: http://www.chem.msu.ru/rus/teaching/tarasevich/Tarasevich_NMR_3.pdf (In Russ.)

21. Myagkov A. Yu., Grigoryeva M. V., Zhuravleva I. V., Zhuravleva S. L. Work experience internship through the eyes of technical university students (on the materials of sociological research). *Obrazovanie i nauka* = *The Education and Science Journal*. 2015; 4 (123): 100–113. (In Russ.)

22. Zolotov Ju. A. O himicheskom analize i o tom, chto vokrug nego = About the chemical analysis and what is around it. Moscow: Publishing House Nauka; 2004. 477 p. (In Russ.)

23. Lewis M. Himija. Shkol'nyj kurs v 100 tablicah = Chemistry. School course in 100 tables. Moscow: Publishing House AST-Press; 1997. 108 p. (In Russ.)

24. Lewis M. Himija v diagrammah = Chemistry in charts. Moscow: Publishing Houses AST; Astrel'; 2004. 160 p. (In Russ.)

25. Baikova L. A., Kosareva M. A. Himija metallov = Chemistry of metals. Ekaterinburg: Ural Federal University; 2015. 100 p. (In Russ.)

26. Terekhin V. V., Zaitseva A. V., Dementieva O. V., Rudoy V. M. New “two-dimensional” polymer-metal composites based on highly ordered ensembles of nanoparticles: Design and optical properties. *Kolloidnyj zhurnal = Colloid Journal*. 2013; 75, 6: 786–791. (In Russ.)

27. Potapova E. N. Manushina A. S., Urbanov F. V. Effect of heat treatment of kaolin on its properties. *Novye ognepuory = New Refractories*. 2017; 10: 26–30. (In Russ.)

28. Ouyang Z., Liu D., Cai Y., Yao Y. Investigating the fractal characteristics of pore-fractures in bituminous coals and anthracites through fluid flow behavior. *Energy and Fuels*. 2016; 30, 12: 10348–10357.

29. Lebedev A. T. Mass-spektroskopija v organicheskoj himii = Mass spectroscopy in organic chemistry. Moscow: Publishing House Tehnosfera; 2015. 704 p. (In Russ.)

30. Tarkhanova I. G., Anisimov F. V., Buryak A. K., Bryzhin F. F., Ali-Zade A. G., Akopyan A. V., Zelikman V. M. Structure and catalytic properties of immobilized ionic liquids based on Mo- and W-containing heteropolyacids in the oxidation of thiophene. *Nefte-himija = Petrochemistry*. 2017; 57, 5: 536–544. (In Russ.)

31. Tursunov M. A., Avezov K. G., Umarov B. B., Parpiev N. A. NMR spectra and the crystal structure of the nickel (II) complex with aroylhydrazones of ethyl 5,5-dimethyl-2,4-dioxohexanoic acid. *Koordinacionnaja himija = Coordination Chemistry*. 2017; 43, 2: 99–102. (In Russ.)

32. Rantitsch G., Lammerer W., Fisslthaler E., et al. On the discrimination of semigraphite and draphte by Raman Spectroscopy. *International Journal of Coal Geology*. 2016; 159.1, April: 48–56.

33. Markov V. F., Maskaeva L. N., Kosareva M. A. Voda, vodnye rastvory: jeffekty razbavlenija i pamjati = Water, aqueous solutions: Dilution and storage effects. Ekaterinburg: Ural Institute of State Fire Service of the Ministry of Emergency Measures of Russia; 2016. 204 p. (In Russ.)

Информация об авторах:

Косарева Маргарита Александровна – кандидат технических наук, доцент кафедры общей химии Уральского федерального университета, Екатеринбург, Россия. E-mail: 89122269153@mail.ru

Байкова Людмила Александровна – кандидат химических наук, доцент кафедры общей химии Уральского федерального университета, Екатеринбург, Россия. E-mail: baikova@yandex.ru

Никоненко Евгения Алексеевна – кандидат химических наук, доцент кафедры общей химии Уральского федерального университета, Екатеринбург, Россия. E-mail: eanik1311@mail.ru

Вайтнер Виталий Владимирович – кандидат технических наук, доцент кафедры общей химии Уральского федерального университета, Екатеринбург, Россия. E-mail: vaitner@yandex.ru

Габдуллин Альфред Нафитович – кандидат технических наук, доцент кафедры общей химии Уральского федерального университета, Екатеринбург, Россия. E-mail: gan1105@mail.ru

Вклад соавторов. Авторы внесли равный вклад в подготовку статьи, которая была написана в ходе совместных обсуждений.

Статья поступила в редакцию 12.10.2017; принята в печать 14.02.2018. Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Information about the authors:

Margarita A. Kosareva – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of General Chemistry, Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin, Yekaterinburg, Russia. E-mail: 89122269153@mail.ru

Lyudmila A. Baikova – Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor, Department of General Chemistry, Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin, Yekaterinburg, Russia. E-mail: baikova@yandex.ru

Evgenia A. Nikonenko – Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor, Department of General Chemistry, Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin, Yekaterinburg, Russia. E-mail: eanik1311@mail.ru

Vitaliy V. Vaitner – Candidate of Technical Sciences, Associate, Department of General Chemistry, Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin, Yekaterinburg, Russia. E-mail: vaitner@yandex.ru

Alfred N. Gabdullin – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of General Chemistry, Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin, Yekaterinburg, Russia. E-mail: gan1105@mail.ru

Contribution of the authors. The authors have made equal contributions to preparation of the present article which was written during joint discussions.

Received 12.10.2017; accepted for publication 14.02.2018.

The authors have read and approved the final manuscript.