

ПРОБЛЕМЫ МЕТОДОЛОГИИ

УДК 378:539.143.43:543

DOI: 10.17853/1994-5639-2019-8-29-64

ОСВОЕНИЕ СТУДЕНТАМИ МЕТОДА АНАЛИЗА СТРУКТУРЫ ВЕЩЕСТВА КАК СПОСОБ ФОРМИРОВАНИЯ НАУЧНОГО МЫШЛЕНИЯ БУДУЩИХ СПЕЦИАЛИСТОВ

Часть II¹

Л. А. Байкова¹, М. А. Косарева², Е. А. Никоненко³, В. В. Вайтнер⁴

*Уральский федеральный университет им. Б. Н. Ельцина,
Екатеринбург, Россия.*

*E-mail: ¹baikova@yandex.ru; ²89122269153@mail.ru;
³eanik1311@mail.ru; ⁴vaitner@yandex.ru*

А. Мажи

Университет Висва-Бхарати (Центральный), Сантаникетан, 731235, Индия.

E-mail: adinath.majee@visva-bharati.ac.in

Аннотация. Введение. В современном обществе знаний объем научно-прикладной информации, которой должен владеть выпускник вуза, продолжает непрерывно увеличиваться. Одновременно сокращается количество аудиторных часов, отпущенных на освоение образовательных программ, в пользу самостоятельной работы обучающихся. На этом фоне высшей школе выдвигается требование о повышении компетентности будущих специалистов, выполнить которое можно, только если тесно увязать содержание фундаментальных, специальных дисциплин всего цикла обучения и самостоятельной работы студентов, усилив их мотивацию к самообразованию и саморазвитию. И аудиторное, и самостоятельное освоение тем и разделов фундаментальных курсов, особенно химии, невозможно без формирования научного мышления обучающихся. Без умения мыслить научно сегодня сложно представить и деятельность большинства практиков-профессионалов: активная экспансия науки в профессиональную сферу имеет ярко выраженную тенденцию к возрастанию.

Цель статьи – показать на примере изучения одного из элементов программ по химии (метода анализа ядерного магнитного резонанса – ЯМР) возможности становления и развития научного мышления у студентов естественно-научных и технических направлений подготовки.

¹ Начало публикации см. в предыдущем номере журнала: Образование и наука. 2019. Т. 21, № 7. С. 41–68.

Методология и методы. Исследование выполнено с опорой на компетентностный, системный и междисциплинарный подходы. Использовались методы анализа, синтеза, интеграции, дифференциации и компактификации фундаментальных знаний и учебного материала.

Результаты и научная новизна. Подчеркивается большой потенциал химического образования для формирования научного мировоззрения, предметного (химического), естественно-научного и целостного научного мышления. Однако обучение химии в вузе осложняется отсутствием унифицированной структуры фундаментальной подготовки, сохранением экстенсивного подхода к содержанию блока химических дисциплин, нерациональной организацией самостоятельной работы студентов, на которую сейчас приходится примерно половина учебного времени. Преодоление этих проблем лежит в плоскости диалектического единства фундаментальных и практико-ориентированных знаний, которое обеспечивается, если в обучении соблюдаются принципы преемственности и междисциплинарности. Чтобы придать целостность и системность содержанию образования, без которых нельзя сформировать у учащихся полноценную естественно-научную картину мира, необходимо дедуктивное структурирование учебного материала. Стержневым, начальным элементом профессиональной подготовки, стимулирующим становление рефлексивных навыков и научного мышления будущих специалистов, должно быть освоение студентами категориально-понятийного аппарата науки, последовательно и всесторонне раскрывающегося на протяжении вузовского цикла. Обозначены фазы развития научного мышления (формально-логическое, рефлексивно-теоретическое, гипотетико-дедуктивное мышление), которые четко не разграничиваются в силу взаимопроникновения и переплетения их составляющих и индивидуальности мыслительных процессов по скорости и качеству протекания. Однако выделение этих этапов позволяет структурировать и при необходимости корректировать содержание учебного материала с учетом характеристик и уровня подготовленности обучающихся.

Именно с этих позиций обоснована целесообразность более детального изучения в рамках дисциплин «Химия», «Общая химия», «Неорганическая химия» и «Аналитическая химия» метода ЯМР, часть материала о котором может быть проработана студентами самостоятельно. Метод, включающий основанные на одном явлении сотни разнообразных типов экспериментов, предназначенных для получения каждый раз какой-то конкретной специфической информации, широко используется как в научных, в том числе в магистерских, исследованиях, так и в самых разнообразных производственных сферах. Сегодня спектроскопия ЯМР признается самым мощным информативным и перспективным методом анализа строения вещества. Фундаментальность, междисциплинарность и универсальность метода позволяют сформировать у студентов при знакомстве с ним базовые профессиональные знания по физике, химии, медицине, биологии, технологии и экологии. Предлагается вариант компоновки учебной информации

о ЯМР, согласно которому бакалавры сначала постигают азы анализа структуры вещества, осваивают систему ключевых понятий и терминов и, постепенно продвигаясь от формально-логических к содержательным обобщениям, учатся научно объяснять явления и делать прогнозы, т. е. в итоге становятся обладателями гипотетико-дедуктивного мышления. Приобретенные таким образом компетенции являются залогом профессиональной грамотности, которая совершенствуется в магистратуре, когда полученные ранее в свернутом виде компактифицированные научные знания разворачиваются в форму, пригодную для оптимального решения конкретной исследовательской или практической задачи. Подобная схема профессиональной подготовки позволяет преодолеть традиционную ориентацию вузовских программ естественно-научного блока на усвоение перманентно прирастающей массы фактического материала.

Практическая значимость. Материалы статьи могут быть полезны методологам высшей школы, специалистам, занимающимся методическими разработками и организацией учебного процесса, вузовским преподавателям химии и смежных дисциплин, а также аспирантам и магистрантам химических и химико-технологических специальностей.

Ключевые слова: методология преподавания химии, научное мышление, химическое мышление, метод ядерного магнитного резонанса, физико-химический анализ, структурное строение вещества.

Для цитирования: Байкова Л. А., Косарева М. А., Никоненко Е. А., Вайтнер В. В., Мажи А. Освоение студентами метода анализа структуры вещества как способ формирования научного мышления будущих специалистов. Ч. II // Образование и наука. 2019. Т. 21, № 8. С. 29–64. DOI: 10.17853/1994-5639-2019-8-99-64

STUDENTS' MASTERING OF STRUCTURAL ANALYSIS OF SUBSTANCE AS A METHOD TO FORM FUTURE SPECIALISTS' SCIENTIFIC THINKING

Part II¹

L. A. Baikova¹, M. A. Kosareva², E. A. Nikonenko³, V. V. Vaitner⁴

Ural Federal University named after the First President of Russia B. N. Yeltsin,
Ekaterinburg, Russia.

E-mail: ¹baikova@yandex.ru; ²89122269153@mail.ru;
³eanik1311@mail.ru; ⁴vaitner@yandex.ru

¹ The first part of the article was published in *The Education and Science Journal*. 2019; 7 (21): 41–68.

A. Majee

Visva-Bharati (A Central University), Santiniketan-731235, India.

E-mail: adinath.majee@visva-bharati.ac.in

Abstract. *Introduction.* In today's knowledge society, the amount of scientific-applied information, which university graduates have to acquire, continues to increase continuously. There is a concurrent reduction in the number of study hours to undertake educational programmes in order to increase the hours for students' independent work. Against this background, higher school is required to increase future experts' competencies. Therefore, the content of fundamental and special disciplines of entire period of training and independent work of students should be thoroughly coordinated by increasing students' motivation to self-education and self-development. Classroom-based and independent learning of disciplines and sections of fundamental academic courses, especially chemistry, is impossible without formation of students' scientific thinking. Today, it is difficult to consider the activity of most professionals without the ability to think scientifically: active expansion of science into professional sphere has a strong tendency to be increased.

The *aim* of the present research is to show the possibilities of formation and development of scientific thinking in the students of natural-scientific and technical directions of education using the example of studying of one of the elements of programmes in chemistry (the method of nuclear magnetic resonance (NMR) analysis).

Methodology and research methods. The research was carried out on the basis of competency-based, systematic and interdisciplinary approaches. The methods of analysis, synthesis, integration, differentiation and compactification of fundamental knowledge and training material were used.

Results and scientific novelty. The high potential of chemical education for formation of scientific thinking, subject content (chemical), natural-scientific and holistic scientific thinking is emphasised. However, chemistry education in higher education institution is complicated by the absence of the unified structure of fundamental preparation, the preservation of extensive approach to the content of chemical disciplines, the irrational organisation of students' independent work, which now is accounted for a half of instructional time. Overcoming these problems lies in the dialectic unity of fundamental and practice-oriented knowledge, which is provided by the compliance with the principles of continuity and interdisciplinarity. It is necessary to provide deductive structuration of training material in order to give integrity and systemacity to the content of education, without which it is impossible to create a comprehensive natural-scientific picture of the world in students. The key initial element of vocational training stimulating the formation of reflexive skills and scientific thinking of future experts is mastering by students of a categorical-conceptual framework of science, which is consistently and comprehensively revealed throughout a high school stage of education. The authors designated phases of development of scientific thinking (formal-logical, reflexive-theoretical, hypothetico-deductive thinking), which are not clearly diffe-

rentiated due to interpenetration and entanglement of their components and identity of thought processes in terms of their speed and quality. However, the allocation of these stages allows to structure and to correct the content of educational material taking into account the characteristics and the level of students' readiness.

From these standpoints, the expediency of more detailed examination of the NMR method is proved within the disciplines such as "Chemistry", "General Chemistry", "Inorganic Chemistry" and "Analytical Chemistry" (a part of material about the NMR method can be worked out by students independently). This method, based on one phenomenon, includes hundreds of various types of the experiments, which are intended for receiving particular information. The NMR method is widely used both in scientific research, including master's thesis, and in the most various manufacturing spheres. Today, the spectroscopy of NMR is recognised as the most powerful informative and perspective method of structural analysis of substance. The fundamental nature, interdisciplinarity and universality of the method provide students with basic professional knowledge on physics, chemistry, medicine, biology, technology and ecology. The authors of the present research propose the option of configuration of educational information on NMR. According to the suggested version, the principle of work is the following: firstly, bachelors study the system of key concepts and terms, moving gradually from formal-logical to substantial generalisations; then, students learn to explain the phenomena scientifically and to make forecasts, and, as a result, they become the "owners" of hypothetico-deductive thinking. The acquired competencies are the key to professional literacy, which is improved in master's degree programme, when the previously compactified scientific knowledge in a contracted form is developed in the form suitable for an optimal solution of a particular research or practical aim. The similar scheme of vocational training makes it possible to overcome traditional orientation of high school programmes of the natural-science block (i.e. retention of permanently growing amount of factual material).

Practical significance. The research materials can be useful for methodologists of the higher school, for experts engaged in methodological development and the organisation of educational process, for high school teachers of chemistry and related disciplines, for post-graduate students and master's students of chemical and chemico-technological specialties as well.

Keywords: methodology of chemistry teaching, scientific thinking, chemical thinking, method of nuclear magnetic resonance, physico-chemical analysis, structural composition of substance.

For citation: Baikova L. A., Kosareva M. A., Nikonenko E. A., Whitener V. V., Majee A. Students' mastering of structural analysis of substance as a method to form future specialists' scientific thinking. Part II. *The Education and Science Journal*. 2019; 8 (21): 29–64. DOI: 10.17853/1994-5639-2019-8-29-64

Материалы и результаты исследования

Профессиональная подготовка, как и все образование на любой из его ступеней, всегда подразумевает присвоение уже накопленных знаний и способов их практического использования. Этот процесс опирается на уже сложившуюся систему научных понятий и уже сформировавшийся научный язык, который служит и формой трансляции информации, и средством ее потребления. «...Усвоение студентами научных понятий и научного языка – ведущая задача профессионального обучения. Только на основе такого усвоения будущий специалист может получить доступ к накопленным научным фактам, теориям, моделям, законам и приступить к самостоятельному изучению реальности, поскольку именно категориально-понятийная система создает нужную точку зрения, с которой только и можно понять истинную сущность того или иного феномена. Без этой точки зрения, т. е. не пользуясь понятиями, выпускник вообще не сможет действовать научно – как специалист-профессионал»¹. Конечно, при выполнении указанной задачи невозможно обойтись без определенной фактической базы и практики по использованию категориально-понятийного аппарата для решения типовых задач.

В рамках программ общей и неорганической химии при изучении строения вещества преподавателям рекомендуется для понимания студентами фундаментальных явлений кратко объяснять суть методов химического анализа, знакомить с приборами, применяющимися в ходе его проведения, а для самостоятельной работы предлагать обучающимся активно пользоваться не только учебными пособиями и интернет-ресурсами, но и специальной литературой, в том числе научной периодикой. Особенно актуально регулярное обращение к текущим журнальным публикациям для магистрантов, так как эта обязательная составляющая исследовательской деятельности часто служит механизмом запуска ее мотивации. Однако такая работа невозможна, с одной стороны, без владения профессиональным «химическим» языком (химическими терминами и понятиями), навыками анализа и обобщения, а с другой стороны, без «важнейшего умения квалифицированного специалиста-химика – способности развертывать компактифицированное научное знание в форму, пригодную для оптимального решения конкретной практической задачи» [25, с. 96]. В свою очередь, решение реальных, соответствующих современному технологическому уровню производства профессио-

¹ Паничев С. А. Дедуктивный подход к структурированию содержания высшего естественнонаучного образования: автореф. дис. ... д-ра пед. наук. Тюмень, 2004.

нальных задач, требующих привлечения понятийного арсенала и содержания теоретической дисциплины, может стать для студентов стимулом ее более глубокого изучения.

Таким образом, поскольку системы научного, фундаментального и профессионально-ориентированного знания существуют преимущественно в вербальной форме (в виде текстов), основой обучения должна быть мыслительная деятельность студентов по присвоению ими системы научных и профессиональных понятий и овладению соответствующими языковыми средствами.

Есть огромное количество теорий и концепций, доказывающих неразрывность и взаимообусловленность языка и мышления, – их обсуждение не является предметом нашей статьи. Обратим внимание лишь на то, что и традиционно выделяемые исходные логические формы мышления – понятие, суждение, умозаключение, и строящиеся на их основе более сложные формы рационального мышления, такие как проблема, гипотеза, теория, имеют именно вербальное выражение на языке определенной научной отрасли.

С. И. Гильманшина, рассуждая о формировании в условиях непрерывного химического образования научного мышления студентов, выделяет три стадии его развития: умение делать формально-логические обобщения → способность к содержательным обобщениям → гипотетико-дедуктивное мышление – научное объяснение и прогнозирование явлений [34]. Формально-логическое обобщение (логичное объяснение химических понятий) требует соблюдения правил построения мыслей: определенности, непротиворечивости, последовательности и обоснованности. Для содержательного обобщения необходимо рефлексивное отношение к осваиваемой теоретической информации, основой которого является содержательный анализ условий происхождения некоторой системы объектов и соответствующих им понятий путем их фактического и мысленного преобразования (определения, анализа, синтеза, оценки, систематизации, классификации и т. д.). На гипотетико-дедуктивном уровне происходит переориентация с познания устройства объектов изучения на выяснение их потенциальных возможностей посредством вычленения проблемы, поиска ее альтернативных решений, выдвижения дедуктивно связанных предположений (гипотез) и их экспериментальной проверки.

Данные фазы развития научного мышления четко не разграничиваются в силу взаимопроникновения и переплетения их составляющих и индивидуальности мыслительных процессов по скорости и качеству протекания, но выделение этих этапов позволяет структурировать и при

необходимости корректировать содержание учебного материала с учетом характеристик и уровня подготовленности обучающихся. Обозначенный процесс формирования научного мышления вполне соотносится с упомянутыми выше компонентами химического мышления, сформулированными Е. В. Волковой (рис. 4).

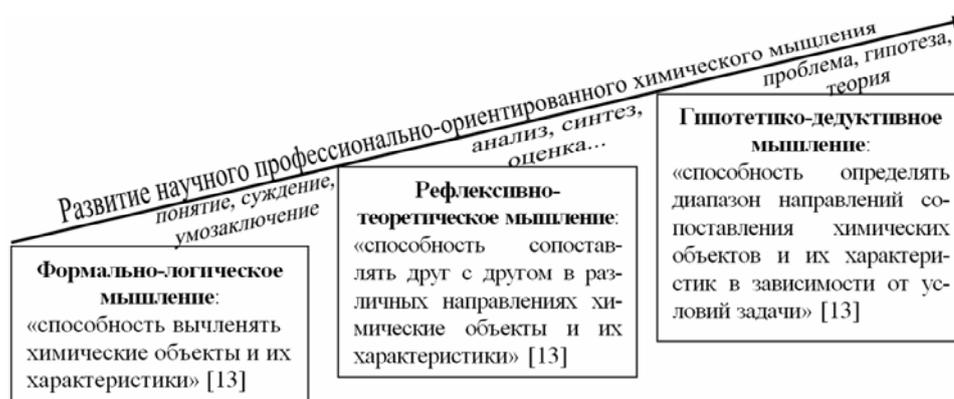


Рис. 4. Развитие научного мышления студентов в процессе изучения химии

Fig. 4. Development of scientific thinking of students in the process of chemistry education

При восхождении по этим ступеням обучающиеся в итоге должны овладеть научным методом гипотез, для чего сначала суть этой формы теоретического мышления разъясняется им на примерах из истории науки с сопроводительными комментариями возникавших в ходе исследований и экспериментов противоречий. Далее студенты учатся различным приемам обобщения, систематизации и самостоятельного выдвижения гипотез, их развития и доказательства (индуктивным, дедуктивным, индуктивно-дедуктивным способами или установлением аналогии) с акцентированием гипотетико-дедуктивного структурирования химических знаний.

Оспаривать обязательность сформированного логического мышления у специалиста любого профиля никто не станет. Между тем методисты и педагоги относят логические ошибки к наиболее распространенным и существенно осложняющим усвоение химических дисциплин¹. Многие студенты, особенно на младших курсах, плохо справляются с определениями химических понятий и объяснениями химических явлений, вынося

¹ Психолого-педагогические вопросы методики обучения химии в высшей школе: сборник статей. Саранск, 1987. 100 с.

на первый план их второстепенные признаки и отношения; испытывают трудности при обобщении учебно-теоретического и экспериментального материала, выведении умозаключений, не говоря о применении химических теорий на практике.

Наличие рефлексивно-теоретического мышления, внутренне связанного с постижением смысла своей собственной деятельности, порождает ясность и осознание ее целесообразности, а следовательно, повышает мотивацию обучения.

Гипотетико-дедуктивное мышление инициирует критический, творческий подход к изучаемому материалу и является одним из наиболее важных признаков готовности студента к исследовательской деятельности.

С целью становления научного химического мышления студентов посредством изучения материала о применении метода ЯМР, с возможностью его дальнейшего использования не только в бакалаврских курсовых работах, ВКР и магистерских диссертациях, но и непосредственно в ходе трудовой деятельности, мы проанализировали и обобщили содержание соответствующих теме публикаций с последующим компактизированием (по А. Я. Юффу и С. А. Паничеву) данного элемента образовательной программы.

Поскольку ЯМР-спектроскопия относится к физико-химическим методам анализа вещества, знакомство с ней целесообразно начать с общей характеристики данной группы методов исследования и их неоспоримой ценности для химического знания и естествознания в целом. Владение этими методами – одно из решающих условий успешной и научной, и практической деятельности современных квалифицированных специалистов, занятых в самых разных сферах. «Физико-химические, или инструментальные, методы анализа основаны на использовании приборов, обеспечивающих не только точность, воспроизводимость и объективность результатов, но и высокую производительность труда <...> Кроме того, они позволяют получить дополнительные характеристики веществ. Важным является также и то, что для проведения анализа физико-химическим методом требуется очень небольшое количество вещества»¹. Например, химик-исследователь или химик-инженер с помощью данных методов сегодня «получают в единицу времени в тысячи раз (!) больше информации о составе, строении и свойствах вещества, чем в середине XX века» [35]. Среди инструментальных методов ЯМР-спектроскопия – бесспорный лидер: она практически всегда входит в число

¹ Пассет Б. В., Антипов М. А. Практикум по техническому анализу и контролю в производстве химико-фармацевтических препаратов и антибиотиков. Москва: Медицина, 1981. 272 с.

четырёх-пяти взаимодополняющих методов, которые задействуются при реализации продвинутых научных проектов по органической химии, и на ее долю приходится больше цитирований, чем на все остальные методы, вместе взятые [35].

Бакалаврам полезно ознакомиться с весьма поучительной историей появления метода ЯМР-спектроскопии: ее можно и должно рассматривать как историю совершенствования и развития методического арсенала химической науки. В химию спектроскопия пришла в начале XX века из физики, обогатившей теоретический аппарат химиков квантовой механикой. Открытие ЯМР и его быстрое внедрение в научную практику стало новым этапом в исследовании не только структуры вещества на всех уровнях, но и природы физических и химических процессов в растворах и в конденсированных средах. Никакой другой физико-химический метод не был столько раз отмечен Нобелевскими наградами. За его открытие в 1943 г. О. Штерн и в 1944 г. И. Раби были удостоены премиями по физике; в 1952 г. Ф. Блох – премией по физике, а Э. Перселл – по химии. В 1991 г. премию по химии за развитие метода получил Р. Эрнст. Две награды (по химии и медицине) присуждены в 2002 г. К. Вютриху, в 2003 г. П. Лаутербуру и П. Мэнсфильду за открытия новых областей применения ЯМР. Среди других Нобелевских лауреатов по химии, физике, биологии или медицине за последние полвека вряд ли найдутся те, кто не использовал данный метод в своих изысканиях. Научная литература по ЯМР сейчас насчитывает сотни монографий и тысячи научных статей. Около половины из них посвящены органической химии, развитие которой без ЯМР теперь нельзя и представить.

Так как разнообразные источники о возникновении, развитии и применении метода ЯМР имеются в изобилии, преподаватель после краткой ретроспективной справки может предложить студентам найти и обработать дополнительный обзорный материал самостоятельно, изложив его в виде докладов или рефератов с последующим их обсуждением на семинарах. При выполнении такой работы следует сфокусировать внимание обучающихся на теоретико-прикладных аспектах ЯМР, касающихся получаемой ими специальности. Это, во-первых, повысит интерес к осваиваемой дисциплине в плане профессионализации; во-вторых, будет опытом селекции профессионально значимой научной информации; в-третьих, позволит самостоятельно проследить поступательное движение научной мысли, траектории и тенденции исследований не только в области ЯМР, но и в естественно-научной и технологической сферах в целом; в-четвертых, поможет осознать тесную связь химических, физических и биологических явлений.

Прекрасным подспорьем для самостоятельной работы студентов, в том числе для знакомства с историей метода ЯМР, являются изданные три года назад «Лекции по спектроскопии ядерного магнитного резонанса» Ю. А. Устынюка, предназначенные для тех, кто встречается с ЯМР впервые и намерен использовать этот вид спектроскопии в основном для решения структурных задач. В предисловии к книге автор пишет: «Большинство моих слушателей в аудиториях еще не имели хорошей подготовки по квантовой механике, поэтому я стремился при изложении материала избегать математических выкладок, ограничиваться наглядными качественными моделями и, по возможности, иллюстрировать изложение примерами использования ЯМР в решении современных химических задач. <...> собственный опыт преподавания дисциплины в течение более 30 лет убедил меня в том, что качественный уровень изложения вполне достаточен для успешного решения рутинных задач не слишком высокой сложности. Этот курс является вводным, и я всегда рекомендую моим слушателям дополнить его в программах дальнейшей подготовки продвинутыми и специальными курсами с более полным и более строгим изложением предмета» [35, с. 8].

Доктор Уве Айхофф, почетный профессор Московского государственного университета, по поводу учебной литературы отмечает: «...на русском языке за последние 10 лет появились лишь две или три книги по ЯМР для химиков, рассчитанные в основном на читателей, хорошо подготовленных по физике и математике. <...> а тексты, доступные студентам младших курсов, лишь начинающим изучение области, на русском языке просто отсутствуют. Компактный курс лекций Ю. А. Устынюка этот пробел восполняет» [35, с. 7].

Издание содержит полный обзор возможностей применения одномерных методик ЯМР в органической химии, сопровождающийся решениями нетривиальных задач. Есть здесь вопросы и задания для самостоятельной работы, позволяющие творчески подойти к решению структурных и динамических задач. Лекционный курс имеет четкую логику: «Явление ЯМР и способы его наблюдения»; «Основные параметры спектров ЯМР»; «Основные параметры спектров ЯМР»; «Косвенное спин-спиновое взаимодействие»; «Методы упрощения сложных спектров ^1H -ЯМР»; «Спектроскопия ^{13}C -ЯМР»; «Динамический ЯМР».

Однако мы в соответствии с дедуктивным принципом построения материала и в связи с допущением того, что большая его часть выносится на самостоятельную подготовку, предлагаем несколько иную последовательность: «Теория метода»; «Перераспределение системой поглощенной энергии внутри себя и в окружающей среде»; «Приборное обеспечение метода»; «Хи-

мический сдвиг и магнитное экранирование»; «Константа спин-спинового взаимодействия»; «Характеристики спектральной линии»; «Применение ЯМР».

Теория метода. Ретроспектива открытий, связанных с явлением ЯМР, предоставляет богатый выбор для объяснения студентам метода познания, основанного на выдвигании, разработке и доказательстве научных гипотез, и для демонстрации процесса сложного, противоречивого, а иногда и драматичного, но всегда увлекательного экспериментального поиска. Так, в 2007 г., когда к столетию со дня рождения выдающегося российского физика Е. К. Завойского были опубликованы его архивы, выяснилось, что он еще в 1943 г., т. е. за два года до Ф. Блоха и Э. Перселла, наблюдал сигналы ЯМР в конденсированной фазе, но не сумел добиться надежной воспроизводимости результатов и не обнаружил их.

При начальном знакомстве студентов с сущностью изучаемого химического явления преподавателю целесообразно воспользоваться объяснительно-иллюстративным методом объяснения с акцентом на его логической структуре. Учащиеся лишь следуют за ходом рассуждений преподавателя. В более «продвинутой» аудитории возможно проблемное изложение материала, при котором студенты привлекаются к поиску путей решения заявленной в начале занятия проблемы, применяя с помощью преподавателя адекватные методы научного мышления (аналогию, моделирование, мысленный эксперимент, формулирование предположения). Так, для студентов-химиков, уже получивших в курсе общей химии представление об основах химической кинетики и термодинамики (в том числе освоивших базовые алгоритмы расчета термодинамических функций для химической реакции), проблема, которая должна быть значима для учащихся, может быть сформулирована следующим образом: «Зачем нужны данные о кинетике и термодинамических характеристиках химической системы (например, раствора, твердой фазы и т. п.) для избранной вами специальности и какие исследования требуются провести, чтобы получить эти данные?» (Ответ на данный вопрос предполагает сопоставление спектроскопии ЯМР с другими методами анализа вещества.) При любом формате занятия, согласно установке на компактифицированное знание, изучая предысторию появления, эволюцию и возможности метода ЯМР и получая предварительные сведения о нем, учащиеся одновременно усваивают ставшие, без преувеличения, классическими¹ термины и понятия, пытаясь осмыслить их содержание. К данному терминологическому

¹ Казицына Л. А., Куплетская Н. Б. Применение Уф-, ИК- и ЯМР-спектроскопии в органической химии: учебное пособие для вузов. Москва: Высшая школа, 1971. 264 с.; Драго Р. Физические методы в химии. Т. 1. Москва: Мир, 1981. 422 с.

корпусу относятся спин, спиновое квантовое число ядра (I), магнитное спиновое квантовое число (m), направление спина (магнитный момент (μ)), прецессия (вращение), ларморовая частота (частота прецессии (ω)) и др.

ЯМР – это метод, базирующийся на фундаментальных представлениях о строении вещества ядра через квантовое механическое понятие спина: он дает опорную, не скрытую морфологией информацию о строении вещества [9]. Сущность явления ЯМР состоит в резонансном поглощении электромагнитной энергии системой ядер вещества, помещенного в магнитное поле достаточно высокой напряженности: $H_0 = (10 - 25 \text{ кГц})$. В постоянном магнитном поле H_0 магнитные моменты (μ) ядер образуют суммарную намагниченность M . После воздействия на исследуемый образец импульсом либо серией радиочастотных импульсов, если намагниченность M повернуть, например, на 90° , можно наблюдать процесс ее возвращения вдоль направления H_0 (восстановление намагниченности) по спаду самоиндукции (ССИ), наводимой в катушке датчика. Если сигнал подвергнуть преобразованию Фурье в спектр, получится спектр ЯМР высокого разрешения. Однако можно определять только параметры восстановления (релаксации) после детектирования, что называется ЯМР-релаксиметрией (ЯМРР). Исследователь может облучать ядра сериями импульсов разной длительности и фазы, манипулируя вектором намагниченности M , а по параметрам ССИ следить за его взаимодействием с ядрами вещества. В разных фазах намагниченность ядер, отличающихся плотностью, молекулярным строением и подвижностью, в зависимости от окружения будет восстанавливаться с индивидуальной временной постоянной, а амплитуды сигналов будут характеризовать концентрации этих ядер. ЯМРР предоставляет информацию о более чем десяти молекулярно-динамических параметрах, связанных с физико-химическими свойствами изучаемого вещества.

В качестве примера, как «работает» метод ЯМР, можно предложить студентам самостоятельно ознакомиться с описаниями наблюдений за молекулами воды и проследить с опорой на эти наблюдения, как выводится основное уравнение ядерного магнитного резонанса: $\nu_0 = \frac{\gamma}{2\pi} H_0$. После этого учащиеся должны аргументированно ответить на вопрос (вывести умозаключение), зависит ли частота прецессии от угла между осью вращения частицы и направлением поля.

Перераспределение системой поглощенной энергии внутри себя и в окружающей среде. В рамках этого фрагмента рассматриваемого бло-

ка учебной информации студенты, знакомясь с понятиями термодинамического равновесия, системы спинов (ансамбля ядерных магнитных моментов), «решетки» (твердого, жидкого или газообразного вещества, содержащего ядерные магнитные спины¹), спин-решеточной релаксации (процесса установления термического равновесия), от времени которой зависит скорость установления теплового равновесия, названная Ф. Блохом продольным временем релаксации², уже могут на основе содержания и объема данных понятий попытаться сформулировать содержательные обобщения о явлении ЯМР.

Теоретическому материалу должно сопутствовать решение проблемных задач и формирующих элементы научного мышления заданий:

- на обобщение фактов по общим признакам (выделение и объединение общих, существенных признаков объектов);
- правильное определение химических понятий (многие из них абстрактны, и для их усвоения требуется осознание связи идеализированных концептов с реальными предметами);
- умение оперировать изучаемыми понятиями;
- построение индуктивных или дедуктивных умозаключений;
- установление причинно-следственных связей (объяснение причины химического явления тесно связано со знанием его сущности, условий протекания рассматриваемого процесса, умениями применять теорию для выявления его механизмов);
- выявление логических ошибок (например, в расчетных задачах с лишними данными или в заданиях, содержащих неверное умозаключение).

Для самостоятельной работы можно предложить, например, следующие задания: 1) сформулируйте определения понятий «время спин-спиновой релаксации», «время спин-решеточной релаксации» и проиллюстрируйте их конкретными примерами; 2) сравните механизмы релаксации бензола, хлорбензола, циклогексана и т. п. Подобные задания должны быть нацелены на постижение химической сущности понятий, учитывать по возможности специальность студентов и в идеале должны быть инкорпорированы в лабораторный практикум.

Приборное обеспечение метода. Один из важнейших аспектов изучаемых в вузе химических дисциплин (общей, неорганической и аналити-

¹ Эндрю Э. Ядерный магнитный резонанс. Москва: Изд-во иностранной литературы, 1957. 299 с.

² Казицына Л. А., Куплетская Н. Б. Применение Уф-, ИК- и ЯМР-спектроскопии в органической химии: учебное пособие для вузов. Москва: Высшая школа, 1971. 264 с.; Драго Р. Физические методы в химии. Т. 1. Москва: Мир, 1981. 422 с.

ческой химии) – приобретение студентами представлений и навыков обращения с приборами, применяющимися для осуществления методов анализа. Прежде всего, обучающимся следует освоить общий принцип устройства спектрометров ЯМР (рис. 5).

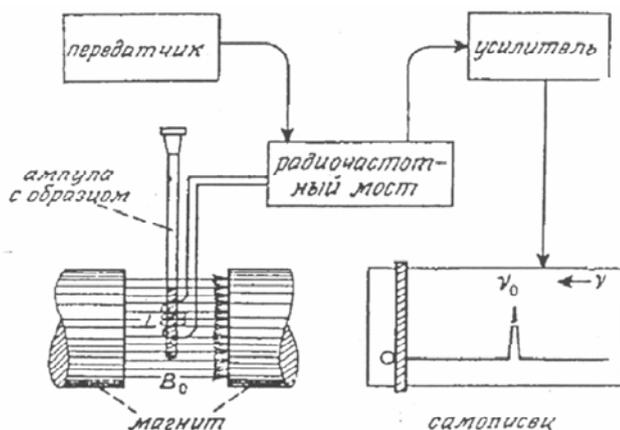


Рис. 5. Блок-схема простейшего спектрометра ЯМР для наблюдения спектров в режиме непрерывной развертки [35]

Fig. 5. Block diagram of a NMR spectrometer for observation of spectra in continuous scan mode [35]

Бакалавры должны получить представление о разных видах и возможностях применения спектрометров, которые по способу нахождения условий резонанса делятся на стационарные и импульсные. В одних условия резонанса находят, медленно изменяя только один параметр (ν_0 или H_0), в других радиочастотное поле прилагается к образцу не непрерывно, а в виде импульсов. Один возбуждающий импульс для записи спектра – самый простейший ЯМР-эксперимент. Но импульсов разной длительности, амплитуды, с разными задержками между ними в эксперименте может быть много, в зависимости от того, какие действия производятся с системой ядерных магнитных моментов. Вместе с тем практически все эти импульсные последовательности оканчиваются записью сигнала свободной прецессии с последующим Фурье-преобразованием. Современные методы регистрации спектров ЯМР высокого разрешения всегда подразумевают импульсную спектроскопию с Фурье-преобразованием.

В настоящее время спектроскопия ЯМР считается самым мощным и информативным методом исследования молекул, который теоретически может почти все, что могут все остальные экспериментальные методы ис-

следования структуры и динамики молекул, хотя на практике это выполнимо пока далеко не всегда. Строго говоря, ЯМР – не один метод, а большое число разнообразных типов экспериментов, т. е. импульсных последовательностей, основанных на одном явлении, но предназначенных для получения какой-то конкретной специфической информации. Число этих экспериментов равняется многим сотням. Часто в лабораториях эксперименты по ЯМР, проводящиеся на доступном оборудовании (главным образом регистрация спектров ^1H и ^{13}C), осуществляются автоматизированно. При близкой концентрации измеряемых образцов перестройки прибора практически не требуется – спектры можно получать «поточным образом». Компьютерное управление приборов облегчает исследования и приводит к «рутинной» ЯМР-спектроскопии, в которой, однако, используется только часть огромных потенциальных возможностей метода, но зато гарантировано быстрое получение информации, большей частью аналитического характера.

В последние десятилетия первенство принадлежит ЯМР высокого разрешения, полученному в жидкостях. Напряженность, используемая в магнитных полях, возросла в 20 раз (частота 600 МГц для протонов)¹. Также активно сейчас применяется ЯМР на протонах или протонный магнитный резонанс – ПМР ^1H . Аппаратура и методы ЯМР продолжают стремительно развиваться и совершенствоваться, и так же быстро расширяются области их применения.

Знакомство студентов с эволюцией ЯМР-спектрометров может и должно сопровождаться не только решением проблемных задач, но и освоением навыков выдвижения гипотез. Например, можно предложить учащимся обсудить, почему некоторые авторы считают, что в многокомпонентных системах для надежного разделения сигналов от воды и льда в широком интервале температур импульсный метод ЯМР предпочтительнее, чем ЯМР высокого разрешения и ЯМР широких линий². Обучение навыкам гипотезирования возможно в разных вариантах: 1) преподаватель выдвигает общую гипотезу решения рассматриваемой проблемы, а студенты дополняют и уточняют ее в процессе занятия; 2) перед изложением фактического материала учащимся дается задание по ходу занятия сделать ряд частных предположений, суммируемых на заверша-

¹ Лундин А. Г., Федин Э. Н. Ядерный магнитный резонанс. Новосибирск: Наука, 1980. 192 с.

² Заводовский А. Г. Кинетика кристаллизации воды и водных растворов по данным ЯМР и микрокалориметрических методов: дис.... канд. физ.-матем. наук. Свердловск, 1990. 147 с.

ющем этапе в общую гипотезу, которая комментируется и оценивается в заключение коллективного обсуждения преподавателем; 3) после постановки проблемы формулируются два противоположных, отражающих противоречивость рассматриваемого химического явления гипотетических высказывания, которые студенты последовательно диалектически синтезируют и делают обобщающий вывод [34].

Конечно, полное понимание обучающимися обсуждаемого метода возможно только после неоднократной работы на приборах во время лабораторных занятий, а впоследствии приобретения опыта самостоятельной обработки результатов проведенных исследований при подготовке магистерских диссертаций.

Заданием для самостоятельной работы может быть подготовка к лабораторным занятиям по практическому освоению принципов работы спектрометра непрерывного ЯМР, импульсного спектрометра ЯМР, регистрации спектров ЯМР высокого разрешения. Для ориентировочной основы действий студентам предварительно раздаются методические рекомендации с перечнями заданий и вопросов, позволяющих заранее мысленно смоделировать эксперимент, обдумать его цель, содержание, последовательность действий, спланировать результаты и сформулировать гипотетические выводы. Так, для первого варианта (знакомства с работой спектрометра непрерывного ЯМР) такой список может выглядеть следующим образом:

1. Перечислите функциональные блоки, из которых состоит типичный непрерывный спектрометр ЯМР, и объясните предназначение каждого блока.

2. Объясните, для чего в приборе применяется низкочастотная модуляция магнитного поля. Почему записывается производная линии поглощения ЯМР?

3. Как связана величина полезного сигнала с амплитудой модуляции? Объясните, чем ограничивается величина модуляции в реальном эксперименте?

4. Сформулируйте преимущества применения компьютера в эксперименте.

5. Опишите порядок Ваших действий при самостоятельной записи спектра ЯМР с помощью изучаемого прибора.

6. Сформулируйте и обоснуйте ответ на вопрос: почему, несмотря на существенное сокращение времени обычного эксперимента при использовании Фурье-спектроскопии ЯМР, получаемый спектр становится более информативным?

Дидактическая цель лабораторного практикума состоит не в формальном воспроизведении эксперимента с помощью прибора, а в освоении методики проведения анализа, приемов подготовки анализируемой пробы, расчетов величины химического сдвига. Например, можно предложить учащимся любой специальности задачи типа: «Рассчитайте величину химического сдвига. Дано: рабочая частота прибора 400 МГц, разница в частотах поглощения между протонами ТМС (тетраметилсилан) и исследуемого соединения составляет 800 Гц». Решая подобные несложные типовые задачи, студенты усваивают, что такое рабочая частота прибора, которая может быть разной, и учатся использовать формулу химического сдвига. Немаловажными в такой работе являются оформление отчета о лабораторной работе и формулировка корректных выводов.

Химический сдвиг и магнитное экранирование. Данный блок учебного материала подразумевает детальное рассмотрение основного параметра спектра ЯМР – химического сдвига, заключающегося в разности резонансных частот сигнала стандартного соединения и сигнала определяемого соединения. Химический сдвиг является основной характеристикой протонного магнитного резонанса и зависит от структуры молекулы. На величину сдвига влияют, с одной стороны, электронная плотность протона, с другой – локальные магнитные поля, возникающие в результате циркуляции электронов в соседних атомах и связях. Оба фактора непосредственно связаны со структурой молекулы. Химический сдвиг может изменяться и по причине внешних факторов: концентрации раствора, температуры, агрегатного состояния, растворителя.

Наряду с понятием химического сдвига широко используется понятие магнитного экранирования (σ)¹, под которым понимают химический сдвиг относительно особого эталона – либо «голых» ядер, лишенных электронных оболочек, либо ионов или атомов с заполненными оболочками. Экспериментально установлено, что химически различные ядра имеют разные σ , и по разности σ можно рассчитывать химический сдвиг в жидкостях². Необходимо подчеркнуть, что постоянные экранирования зависят только от строения электронной оболочки и поэтому одинаковы для всех протонов данного элемента³. Если протоны одной молекулы имеют

¹ Попл Дж., Шнейдер В., Бернштейн Г. Спектры ядерного магнитного резонанса высокого разрешения. Москва: Изд-во иностранной литературы, 1962. 592 с.

² Казицына Л. А., Куплетская Н. Б. Применение УФ-, ИК- и ЯМР-спектроскопии в органической химии: учебное пособие для вузов. Москва: Высшая школа, 1971. 264 с.; Драго Р. Физические методы в химии. Т. 1. Москва: Мир, 1981. 422 с.

³ Там же.

одинаковые химические сдвиги и химически равноценны, то они называются химически эквивалентными¹.

Студентам следует уяснить разницу между химической и магнитной эквивалентностью. Если ядра химически эквиваленты, то они изохронны, т. е. имеют одинаковый химический сдвиг (обратное неверно – изохронность не гарантирует химической эквивалентности). Магнитная эквивалентность ядер означает их неразличимость с точки зрения ЯМР. В качестве иллюстрации учащимся можно предложить следующий пример. В этаноле $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-OH}$ (рис. 6) эквивалентные ядра занимают в молекуле химически эквивалентные положения.

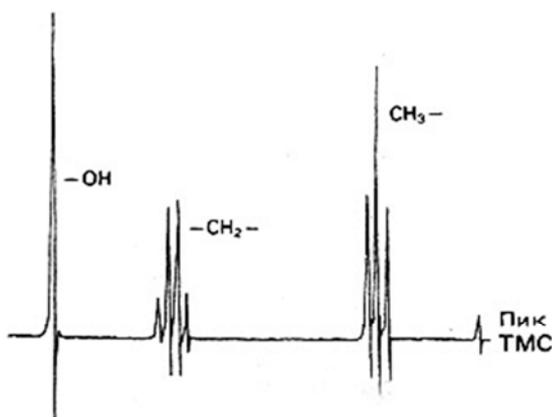


Рис. 6. Спектр ядерного магнитного резонанса (ЯМР) этанола
Fig. 6. Spectrum of the nuclear magnetic resonance (NMR) of ethanol

Три протона метильной группы этилового спирта образуют одну систему эквивалентных ядер, а два протона метиленовой группы – другую, отличную от первой, поэтому основной характеристикой протонного резонанса спектра данной молекулы можно считать две величины: число систем эквивалентных протонов и число протонов в каждой системе. В том случае, когда химические сдвиги достаточно велики, число протонов в каждой системе можно определить, измеряя относительные интенсивности сигналов².

«В настоящее время теория магнитного экранирования в ЯМР хорошо разработана. Все пакеты квантово-химических программ высокого уровня позволяют рассчитывать тензоры экранирования и изотропные

¹ Лундин А. Г., Федин Э. Н. Ядерный магнитный резонанс. Новосибирск: Наука. 1980. 192 с.

² Там же.

химические сдвиги различных ядер в достаточно сложных молекулах с высокой точностью. При наличии хорошей вычислительной техники такие расчеты представляют собой вполне рутинную процедуру. Однако для химика-исследователя чрезвычайно важно знать, какие факторы определяют химические сдвиги интересующих его ядер. Эти знания позволяют без расчетов на качественном уровне проследить связи химических сдвигов со структурой молекул и решать структурные задачи» [35].

Как вариант задания для самостоятельной работы студентам любой специальности могут быть даны типовые задания вроде: «Проанализируйте спектр 2-метокси-2-метилпропана и объясните изменение величины интенсивности сигналов $C(CH_3)_3$ -группы по сравнению с CH_3 -группой». Цели подобных учебных заданий – рассмотреть спектры различных типов протонов, их химические сдвиги, усвоить понятие интенсивности сигналов различных функциональных групп в структуре молекул и уяснить связь спектров со строением органических веществ.

Константа спин-спинового взаимодействия (КССВ). КССВ является количественной мерой спин-спинового взаимодействия, которое объясняет тонкую структуру спектров. Взаимодействие одного из ядер с электроном его атома приводит к тому, что спин этого электрона ориентируется преимущественно антипараллельно спину ядра. Вследствие магнитного взаимодействия между электроном и ядром второго атома спин последнего стремится стать антипараллельным спину первого ядра. Комбинация этих эффектов и образует спин-спиновое взаимодействие между двумя ядрами. Экспериментальные исследования тонкой структуры спектров показали, что обусловленное электронами спин-спиновое взаимодействие между эквивалентными ядрами не приводит к какому-либо расщеплению.

Величина константы не зависит от напряженности приложенного поля H_0 , она определяется природой взаимодействующих ядер, числом и характером связей между ними, а также геометрией молекулы. КССВ взаимодействия эквивалентных ядер со всеми другими ядрами молекулы, обладающими магнитным моментом, могут быть как одинаковыми, так и различными.

В этом блоке материала изучаются зависимости константы от порядка связи, углов между связями и возможности появления любого знака этой константы. Поэтому на самостоятельную работу может быть вынесено: 1) изучение интегральной интенсивности различных типов сигналов; 2) факторов, от которых зависит величина констант спин-спинового взаимодействия; 3) использование этих знаний для определения согласно спектру ЯМР 1H 1,1,2-трихлорэтана магнитно эквивалентных атомов угле-

рода ядра водорода. При разработке таких заданий эффективен принцип фасетности (каждый студент получает индивидуальное задание), а общей целью их выполнения является выработка у обучающихся базовых алгоритмов действий и общих подходов к использованию ЯМР.

Характеристики спектральной линии. Эта часть материала о методе ЯМР включает понятия о таких важных для анализа вещества характеристиках резонансной линии, как интенсивность и ширина сигнала ЯМР-спектрометра.

Интенсивность сигнала пропорциональна магнитной восприимчивости и, следовательно, числу ядер, вызывающих резонанс¹. Измерения этой характеристики дают возможность: 1) сопоставлять отношения интенсивности сигналов для одного и того же спектра; 2) сравнивать интенсивность сигналов для различных спектров, например сигналов от растворов различных концентраций.

Изучая данный материал, студенты могут самостоятельно сделать выводы о влиянии температурного режима на смещение резонансной линии и о том, в каких случаях при определении интенсивности предпочтительнее измерять площади сигналов, а в каких – ее амплитуду.

Ширина ядерно-резонансной спектральной линии определяется средним временем жизни ядер в каком-либо состоянии, которое зависит от интенсивности взаимодействия магнитных моментов ядер с решеткой. Источником расширения линии являются: 1) неоднородность постоянного магнитного поля по всей системе ядерных спинов; 2) расширение, происходящее благодаря очень короткому спин-решеточному времени релаксации (T_1), ограничивающему время жизни ядер в данном состоянии; 3) спин ядра I превосходит $\frac{1}{2}$.

Широкие резонансные линии были найдены для веществ в твердом состоянии, узкие – в жидкостях, что согласуется с теорией, утверждающей, что в жидкостях вращательной составляющей ядер соответствуют узкие резонансные линии, а в твердых телах внутриядерные поля приводят к расширению резонансных линий. Различие ширины спектров ЯМР в твердой и жидкой фазе настолько велико (тысячи раз), что может служить надежным индикатором появления кристаллизации либо плавления. Было также обнаружено, что ширина резонансной линии жидкого водорода более узкая, чем у протонов воды при комнатной температуре.

Как показывает опыт, живой интерес у студентов вызывает подготовка к лабораторному практикуму на основании опубликованных ре-

¹ Там же.

зультатов оригинальных научных исследований. Обращение к богатому экспериментальному материалу (выбор которого во многом зависит от направления подготовки) способствует формированию умений анализировать и обобщать данные эксперимента, делать выводы; логично объяснять химические понятия, явления и теории; формулировать и доказывать гипотезы возможных решений проблемы.

Рассмотрение значительного числа ^1H и ^{13}C ЯМР-спектров конкретных веществ – представителей различных классов органических соединений – позволяет учащимся овладеть навыками самостоятельной идентификации простых органических соединений различных классов по их ЯМР-спектрам. На формирование таких навыков направлено решение специально подобранных задач и выполнение заданий по распознаванию органических соединений исходя из их ЯМР-спектров и определение в них (соединениях) количественного содержания того или иного компонента. При выполнении этой работы студенты не только устанавливают тождественность неизвестного объекта известному на основании совпадения признаков, но и обретают культуру мышления, способности к аналитическому восприятию информации, постановке цели и выбору путей ее достижения, логически верному и ясному построению речи.

Для самостоятельной подготовки после предварительных аудиторных разъяснений мы предлагаем учащимся расшифровать ЯМР-спектры ^1H нескольких соединений: 1) определить количество протонов в соединениях по величине интегральной интенсивности сигналов; 2) по значению химического сдвига определить, к какой функциональной группе принадлежит протон; 3) по мультиплетности и значению константы спин-спинового взаимодействия сигналов определить, какое количество протонов находится рядом с каждым из них; 4) сделать заключение о соответствии спектра соединения его структур.

Применение ЯМР. Для изучения молекулярных структур существует множество методов, однако лишь ЯМР и рентгеновская кристаллография обладают разрешением, позволяющим не только определять точное расположение атомов в молекуле, т. е. молекулярную структуру соединений, но и различать как статические, так и подвижные структуры, давая информацию о внутренней и межмолекулярной динамике. Сейчас ЯМР – один из основных методов установления молекулярной и кристаллической структуры вещества и исследования механизмов физических и химических процессов в конденсированных системах.

Посредством именно этого метода можно выявлять структуру воды свободной и связанной в различных комплексных соединениях, в гидра-

тах, клатратах, кристаллогидратах, поскольку вода в связанном состоянии находится практически в любом веществе [36–43]. Так, методом ЯМР-спектроскопии исследуют фрактальные характеристики внутримолекулярных изломов в каменных углях и антрацитах по флюидным показателям [41]. Актуален метод ЯМР для разработки газовых месторождений (ядерно-магнитный каротаж).

Однако у метода есть ограничения в применении. Ядра с четным массовым числом и четным атомным номером, например ядра изотопов углерода 12 (^{12}C) и кислорода 16 (^{16}O), имеют спаренные спины. Их результирующее ядерное спиновое квантовое число (I) равно нулю, у ядер одно энергетическое состояние в магнитном поле ($2 \cdot 0 + 1$), т. е. они не могут изучаться с помощью ЯМР.

Ядра водорода (^1H), протоны, напротив, обладают магнитными свойствами, поэтому исследуются данным методом. Спектроскопия ЯМР ^1H позволяет наблюдать окружение протонов; спектроскопия ЯМР ^{13}C может быть использована для определения различных типов атомов углерода в молекуле.

Чувствительность к влиянию примесей (спин-решеточная релаксация), дефектов решетки (квадрупольные эффекты) или характеру химической связи (химические сдвиги ЯМР и сверхтонкие взаимодействия) позволяет рассматривать ЯМР в качестве важнейшего метода получения фундаментальных знаний о веществе.

Для обобщения материала и закрепления элементов категориально-понятийного аппарата весьма эффективно создание студентами собственных продуктов, например, в виде мультимедийных презентаций на заданную тему, выбранную самостоятельно или при помощи преподавателя и учитывающую направление подготовки. Коллективное обсуждение и совместная оценка в студенческой аудитории таких презентаций, которые должны демонстрировать практическую ценность и востребованность учащимися усвоенных знаний о применении метода ЯМР, дает возможность получить начальный опыт профессиональных дискуссий и стимулирует дальнейший познавательный процесс.

Информация о химических сдвигах различных ядер публикуется в справочных изданиях, а также заносится в базы данных, которыми снабжаются современные спектрометры ЯМР. Овладев категориально-понятийным аппаратом в области ЯМР-спектрометрии, т. е. достигнув необходимого уровня профессиональной грамотности, будущий специалист будет способен компетентно пользоваться этими источниками при решении профессиональных задач.

Качественное усвоение как отдельной дисциплины, так и программы всего вузовского цикла маловероятно без систематической, хорошо организованной самостоятельной работы учащихся и обсуждения неясных вопросов с преподавателями. Систематизированные обобщенные знания, приобретенные в бакалавриате, в магистратуре станут дополняться спецкурсами, акцентирующими инновационные направления развития химической науки. Сведения о ЯМР-спектроскопии будут расширены информацией о многоимпульсных последовательностях, двумерных ЯМР, импульсных градиентах поляризующего поля и других современных методиках, обогащающих исследовательский арсенал и открывающих возможности для выдвижения новых гипотез и их доказательства. Однако нужно помнить, что и для бакалавров, и для магистров «важен не набор разрозненных фактов из разных наук, а формирование научного мировоззрения, философское осмысление проблем современности, поиск путей их решения на базе изучаемых дисциплин» [44]. То есть требуется соблюдение в обучении принципа преемственности, обеспечивающегося в химических курсах с помощью химического языка, позволяющего «не только эффективно аккумулировать химические знания и опыт, но и передавать их от поколения к поколению <...> Можно сказать, что преемственность в химии в целом и химическое образование в частности возможны только благодаря существованию развитого химического языка» [25, с. 96].

Магистранты, более, чем бакалавры, нацеленные на исследовательскую работу, ознакомившись на предыдущей ступени с простыми, но убедительно демонстрирующими исключительный потенциал ЯМР-методиками и усвоив «смысловой “экстракт” общехимического уровня» [25], должны будут овладеть навыками развертывания ранее обретенных в свернутом виде знаний. Переход на следующий теоретический уровень требует более серьезной подготовки в области квантовой и физической химии. И здесь снова возникает вопрос о преемственности между смежными вузовскими дисциплинами. Мы абсолютно согласны с Р. С. Кашаевым в том, что истинная наука всегда междисциплинарна, и в том, что «только сочетание различных наук создает мощный синергетический эффект и обеспечивает технологический прорыв, формирует условия для развития науки и образования» [9].

М. Отто подчеркивает междисциплинарность аналитической химии, которая включает в себя множество разнообразных методов, опирающихся на различные химические, физические, а в последнее время и биологические явления [45]. Это один из фундаментальных курсов естественно-

научного цикла, способствующий формированию научного мировоззрения студентов и развивающий их химическое научное мышление. Поэтому так важно донести до будущих специалистов идеологию, сущность и современное содержание этой дисциплины [46], тесно переплетающейся с содержанием предшествующих курсов. Опорные навыки выполнения стандартных приемов и процедур химического анализа, знания и умения в этой области необходимы и для постижения последующих дисциплин, соответствующих профилю подготовки [47].

Междисциплинарность ЯМР-спектроскопии проявляется в том, что «в образовательном процессе использование ЯМР позволяет получать навыки разработки электронной аппаратуры, при описании явления это дает базовые знания по классической и квантовой физике, обработка данных использует современные математические приемы, а интерпретация полученных результатов неизбежно требует привлечения данных по молекулярной, химической и биологической структуре в зависимости от объекта исследования» [9].

На примере освоения студентами анализа структуры вещества можно проследить связь отдельных вузовских курсов. Занимаясь общей химией, учащиеся получают представление о современной квантовой теории строения атома, квантовых числах, характеризующих электрон, атом и строение ядра. Обладая этими сведениями, далее нетрудно понять объяснение теории магнитного резонанса. Более детально строение ядра, а также законы распределения энергии раскрываются в курсе физики. В дальнейшем во время лабораторных работ в рамках изучения аналитической химии студентам предоставляется возможность применить усвоенную теорию на практике.

Заключение

Формирование научного мышления студентов в ходе изучения дисциплин естественно-научного цикла обусловлено логикой, содержанием и языком той или иной преподаваемой науки, что следует учитывать в процессе преподавания химии в вузе. Научному химическому мышлению свойственны как общие качества, присущие мышлению в любой области естествознания, так и специфические, отражающие особенности целей, задач и содержания химической деятельности.

Структура курса химии (или ее раздела) должна включать:

1) общенаучную основу, составляющую методологический фундамент данной дисциплины и определяющую ее место в полном дисциплинарном цикле программы вуза;

2) научные теории (модели) и необходимую для их построения категориально-понятийную систему (специфические для данной дисциплины химические понятия);

3) эмпирический материал (необходимые сведения о свойствах веществ, их химических превращениях), обеспечивающий усвоение теории;

4) практическую часть, соотносящуюся с определенными отраслевыми потребностями, которые могут удовлетворяться только посредством специфической химической деятельности (через анализ, синтез, модификацию веществ, установление закономерностей, нахождение способов регулирования реакций и т. д.);

5) содержание профессиональной деятельности в рамках данной дисциплины (цели, содержание и типы задач, методы получения и оценки результатов);

6) комплекс методических приемов выполнения эксперимента в рамках дисциплины.

При такой структуре курс из набора сведений превращается в надежный фундамент для последующего обучения и трудовой деятельности, а у студентов появляется сознательное отношение к освоению дисциплины.

Пример представленной в статье компоновки (компактифицирования) учебного материала, большей частью предназначенного для самостоятельной работы студентов, составлен в соответствии с государственным стандартом высшего профессионального образования. Подобный, не претендующий на идеальность вариант знакомства будущих специалистов естественно-научных, технологических и технических направлений подготовки с методами анализа значительно сокращает время освоения данного элемента программ по химии за счет приобретения в бакалавриате необходимого минимума знаний, базовых для дальнейшего практического приложения метода ЯМР-спектроскопии и интерпретации получаемых с его помощью результатов.

Предлагаемый подход полностью отвечает и общепринятым дидактическим принципам. Соответствие содержания образования уровню современной науки обеспечивается тем, что категориально-понятийный аппарат составляет фундамент любой научной области, а овладение научным языком позволяет будущим специалистам приобщиться к накопленному в данной сфере знанию. Структурное единство и уравновешенность содержательной и процессуальной сторон образования достигаются за счет того, что учебная информация предоставляется в виде системы категорий, понятий, терминов, сформировавшихся в результате деятельности научного и профессионального сообщества, а освоение такой системы воз-

можно только при условии самостоятельной активной мыслительной и практической работы учащихся.

В случае адекватного представления иерархически упорядоченная категориально-понятийная система естествознания дает возможность обучающимся видеть внутреннюю целостность постигаемой дисциплины, обнаруживать многочисленные связи между отдельными понятиями и их совокупностями (теориями) и находить в этой системе место конкретных изучаемых объектов материального мира. Системы понятий отдельных естественно-научных дисциплин не являются изолированными: их взаимопроникновение образует общий категориальный каркас естествознания. Квалифицированная профессиональная деятельность возможна только тогда, когда специалист ясно понимает эти междисциплинарные взаимосвязи, скрепляющие целостную естественно-научную картину мира, формирование которой – одна из главных задач обучения, эффективно решаемая на основе дедуктивного подхода.

Изучение метода ЯМР (и шире – курса аналитической химии) формирует у студентов как теоретическую базу для усвоения специальных дисциплин, так и практические навыки и умения, позволяющие будущему специалисту находить рациональные решения профессиональных прикладных задач.

Знакомясь с данным наиболее информативным методом анализа структуры вещества, динамических превращений молекул, межмолекулярных взаимодействий, механизмов химических реакций и количественного анализа веществ, бакалавры приобщаются к химическому способу мышления посредством усвоения системы компактифицированных химических понятий; магистры же, готовясь к проведению самостоятельных исследований, должны обрести «способность развертывать компактифицированное научное знание в форму, пригодную для оптимального решения конкретной практической задачи» [25, с. 96].

Практическая ориентация всех видов и форм обучения при освоении естественно-научных дисциплин с выраженным фундаментальным контекстом – необходимое условие эффективного педагогического процесса в высшей школе, так как именно она позволяет подготовить специалистов, обладающих широким спектром профессионально значимых и востребованных знаний и умений, а также должным уровнем научного мышления, обеспечивающим компетентное применение этих знаний и умений в профессиональной деятельности.

Список использованных источников

1. Бровкин А. В. Проблемы современной российской системы высшего образования и пути их решения в интересах всех участников образовательного процесса // Современное образование [Электрон. ресурс]. 2018. № 2. С. 1–8. DOI: 10.25136/2409–8736.2018.1.25053. Режим доступа: http://e-notabene.ru/pp/article_26398.html (дата обращения 11.05.2018).
2. Скачкова А. С. Производственные практики в вузах: обоснование необходимости и методика эффективной организации // Образовательные технологии. 2013. № 3. С. 136–143.
3. Недосека Е. В. Профессионально практическая подготовка в вузе как фактор социальной адаптации к профессиональной деятельности // Регионоведение. 2009. № 1. С. 123–128.
4. Гусева Е. В., Скурлатов В. В., Суркин М. Ю. Междисциплинарная интеграция как средство профилизации обучения // Вестник Военной академии материально-технического обеспечения им. А. В. Хрулева. 2015. № 1. С. 141–146.
5. Лебедева Е. Н., Афонина С. Н., Гирина А. В., Мачнева И. В., Никонов А. А. Элективные курсы в преподавании биохимии как одна из форм интерактивного обучения на фармацевтическом факультете // Медицинский вестник Башкортостана. 2016. Т. 11, № 5 (65). С. 153–155.
6. Баринев Э. Ф. Вариативный курс на теоретической кафедре как базис формирования профессиональных компетенций врача // Образование и наука. 2018. Т. 20, № 4. С. 64–83.
7. Байгужина С. К., Кабдуова А. К., Шамбилова Н. А. Самостоятельная работа студентов под руководством преподавателя на кафедре микробиологии // Медицина и экология. 2016. № 1. С. 111–113.
8. Занин С. А. Самостоятельная работа студентов как необходимый компонент формирования компетенций при изучении нормальной физиологии человека // Международный журнал экспериментального образования. 2014. № 10. С. 133–135.
9. Кашаев Р. С. Развитие науки и образования на основе междисциплинарного подхода к применению метода ядерного магнитного резонанса (ЯМР) // Успехи современного естествознания. 2011. № 2. С. 82–87 [Электрон. ресурс]. Режим доступа: <http://natural-sciences.ru/ru/article/view?id=15933> (дата обращения: 19.01.2019).
10. Лукашенко С. Н. Модель развития исследовательской компетентности студентов вуза в условиях многоуровневого обучения (на примере изучения математических дисциплин) // Образование и наука. 2012. № 1 (90). С. 73–85.
11. Карпов А. О. Научное познание и системогенез современной школы // Вопросы философии. 2003. № 6. С. 37–53.
12. Дубицкая Л. В., Коробкова С. А. Развитие естественнонаучного мышления средствами контекстного обучения физике // Современные наукоемкие технологии. 2016. № 2. С. 471–475 [Электрон. ресурс]. Режим доступа: <https://top-technologies.ru/pdf/2016/2-3/35655.pdf> (дата обращения: 19.01.2019).
13. Волкова Е. В. О химическом мышлении и методах его исследования // Естественнонаучное образование: новые горизонты: сборник статей / под общ. ред. В. В. Лунина, Н. Е. Кузьменко. Москва: МГУ, 2017. С. 44–58.

14. Паничев С. А. Дедуктивный принцип обучения в высшем естественнонаучном образовании // Педагогика, 2004. № 8. С. 18–28.

15. Зотов А. Ф. Преемственность научного знания и принцип соответствия // Проблемы истории и методологии научного познания. Москва: Наука, 1974.

16. Литвинова Т. Н., Быков И. М., Корочанская С. П. Реализация принципа преемственности при изучении химических дисциплин с целью совершенствования химического образования в системе медицинского вуза // Успехи современного естествознания. 2009. № 9. С. 41–43.

17. Василевская Е. И., Сечко О. И. Преемственность системы непрерывного химического образования: школа – вуз // Образование через всю жизнь: непрерывное образование в интересах устойчивого развития: сборник статей Международной научной конференции. С.-Петербург, 2013. С. 275–277 [Электрон. ресурс]. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/continuity-in-the-system-of-permanent-chemical-education-school-higher-educational-institution> (дата обращения: 19.01.2019).

18. Briggs A. R. J., Clark J., Hall I. Building bridges: understanding student transition to university // Quality in Higher Education. 2012. № 18 (1). P. 3–21. DOI: 10.1080/13538322.2011.614468

19. Dalziel J. R., Peat M. Academic performance during student transition to university studies. 1998. Available from: http://www.sydney.edu.au/science/uniserve_science/workshop/fye/mpjd.pdf (дата обращения: 15.01.2019).

20. Malcolm J., Zukas M. Bridging pedagogic gaps: Conceptual discontinuities in higher education // Teaching in Higher Education. 2001. № 6 (1). P. 33–42.

21. Markic S., Eilks I. A mixed methods approach to characterize the beliefs on science teaching and learning of freshman science student teachers from different science teaching domains // Contemporary science education research: teaching. A collection of papers presented at ESERA 2009 Conference / eds. M. F. Taşar & G. Çakmakci. Ankara, Turkey: Pegem Akademi, 2010. P. 21–28.

22. Seeman M. Alienation motifs in contemporary theorizing: The hidden continuity of the classic themes // Social Psychology Quarterly. 1983. № 46 (3). P. 171–184.

23. Михайлов Л. А., Беспамятных Т. А., Баленко Ю. К. Концепции современного естествознания: учебник для вузов / под ред. Л. А. Михайлова. С.-Петербург: Питер, 2012. 336 с.

24. Чернобельская Г. М. Методика обучения химии в средней школе. Москва: ВЛАДОС, 2000. 336 с.

25. Юффа А. Я., Паничев С. А. Проблемы и перспективы высшего химического образования // Российский химический журнал (Журнал Российского химического общества им. Д. И. Менделеева). 2003. Т. XLVII, № 2. С. 93–99.

26. Сироткин О. С., Сироткин Р. О. О концепции химического образования // Высшее образование в России. 2001. № 6. С. 137–139 [Электрон. ресурс]. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/o-kontseptsii-himicheskogo-obrazovaniya>

27. Сироткин О. С. Традиционная методология преподавания химии: проблемы, недостатки и причины ее использования в XXI веке (обзор) // Ин-

новации в преподавании химии: сборник научных и научно-методических трудов V Международной научно-практической конференции. Казань: Казанский университет, 2014. С. 272–277.

28. Золотов Ю. А. О преподавании аналитической химии // Журнал аналитической химии – Journal of Analytical Chemistry [Электрон. ресурс]. 2011. Т. 66, № 3. С. 3.

29. Мычко Д. И. Вопросы методологии и истории химии: от теории научного метода к методике обучения: пособие. Минск: БГУ, 2014. 295 с.

30. Кельнер Р. и др. Аналитическая химия: проблемы и подходы: в 2 т. / под ред. Р. Кельнера, Ж. М. Мерме, М. Отто и М. Видмера. Москва: Мир; АСТ, 2014. Т. 1. 608 с.; Т. 2. 768 с.

31. Саламов А. Х., Бокова Л. М., Инаркиева З. И., Ужахова Л. Я. Пути совершенствования преподавания аналитической химии в вузе // Актуальные вопросы современной науки: материалы XXIII Международной научно-практической конференции. Москва, 2014. С. 42–45.

32. Шеховцова Т. Н., Вершинин В. И. Какой должна быть профессиональная подготовка аналитика в классических университетах? // Журнал аналитической химии – Journal of Analytical Chemistry. 2001. Т. 56, № 1. С. 93–100.

33. Хамитова А. И., Иванов В. Г. Формы организации обучения общей и неорганической химии в химико-технологическом вузе через призму самостоятельной работы студентов // Известия РГПУ им. А. И. Герцена. 2008. № 48. С. 115–132.

34. Гильманшина С. И. Непрерывное химическое образование: формирование научного мышления // Научное обозрение. Педагогические науки. 2015. № 1. С. 133–134.

35. Устынюк Ю. А. Лекции по спектроскопии ядерного магнитного резонанса. Часть 1 (вводный курс). Москва: Техносфера, 2016. 288 с.

36. Синельщикова А. А., Горбунова Ю. Г., Лапкина Л. А., Константинов Н. Ю., Цивадзе А. Ю. Комплексы эрбия с тетра-15-краун-5-фталоцианином: синтез и спектроскопическое исследование // Журнал неорганической химии. 2011. Т. 56, № 10. С. 1442–1452.

37. Воробьева С. Н., Беляев А. В., Федотов М. А., Юшина И. В., Недосейкина Т. И. Твердофазная конденсация сульфатов акваиона родия (III) // Журнал неорганической химии. 2011. Т. 56, № 10. С. 1689–1696.

38. Гайворонская К. А., Герасименко А. В., Диденко Н. А., Слободюк А. Б., Кавун В. Я. $\text{Li}_2\text{Mg}(\text{ZrF}_6)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$: синтез, рентгеноструктурное, термическое и mas ямр исследование // Журнал неорганической химии. 2013. Т. 58, № 2. С. 226–233.

39. Рижа А., Коропчану Э., Болота О., Лозан В., Липковски Я., Булах И., Боурош П. Синтез и строение новых тиокарбамидсодержащих диоксиматов кобальта (III) с анионом $[\text{TlF}_6]^{2-}$ // Журнал неорганической химии. 2013. Т. 58, № 4. С. 506–516. DOI: 10.7868/s0044457x13040168

40. Захаров Н. А., Сенцов М. Ю., Калинин В. Е. Нанокompозит гидроксипатит кальция / метилцеллюлоза: синтез, свойства // Журнал неорганической химии. 2014. Т. 59, № 1. С. 3–12.

41. Махиня А. Н., Ильин М. А., Ямалетдинов Р. Д., Байдина И. А., Ткачев С. В., Зубарева А. П., Корольков И. В., Пирязев Д. А. Синтез, некоторые свой-

ства и кристаллические модификации fac-[Ru(NO)Py₂Cl₃] // Координационная химия. 2016. Т. 42, № 12. С. 741–746. DOI: 10.7868/S0132344X16120057

42. Махиня А. Н., Ильин М. А., Кабин Е. В., Байдина И. А., Галлямов М. Р., Алферова Н. И. Синтез, строение и характеристика гидроксо- и аквакомплексов нитрозорутения транс-дипиридинового ряда // Координационная химия. 2014. Т. 40, № 5. С. 298–304. DOI: 10.7868/S0132344X14050089

43. Ouyang Z., Liu D., Cai Y., Yao Y. Investigating the fractal characteristics of pore-fractures in Bituminous Coals and Anthracites through Eluid Flow Behavior // Energy and Fuels. 2016. Vol. 30, № 12. P. 10348–10357.

44. Гилязова И. Б., Жарких Л. А., Курдуманова О. И. Методические аспекты формирования химической картины природы и научного мировоззрения студентов педагогического вуза в условиях стандартов третьего поколения // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 3 [Электрон. ресурс]. Режим доступа: <http://science-education.ru/ru/article/view?id=6280> (дата обращения: 20.01.2019).

45. Отто М. Современные методы аналитической химии: в 2 т. Т. I. Москва: Техносфера, 2003. 416 с. ISBN 5–94836–014–8

46. Золотов Ю. А. Новый век аналитической химии, Москва: Янус – К, 2013. 248 с.

47. Кузнецов В. В. Современные методы элементарного химического анализа в курсе аналитической химии // Успехи в химии и химической технологии. 2014. Т. 28, № 9 (158). С. 95–98.

References

1. Brovkin A. V. Problems of the modern Russian higher education system and a way of their decision for the benefit of all participants of educational process. *Sovremennoe obrazovanie = Modern Education* [Internet]. 2018 [cited 2018 May 11]; 2: 1–8. DOI: 10.25136/2409–8736.2018.1.25053. Available from: http://e-notabene.ru/pp/article_26398.html (In Russ.)

2. Skachkova A. S. Work practices in higher education institutions: Justification of the need and technique of effective organisation. *Obrazovatel'nye tehnologii = Educational Technologies*. 2013; 3: 136–143. (In Russ.)

3. Nedoseka E. V. Professionally practical preparation in higher education institution as a social adaptation factor to professional activity. *Regionologija = Regionology*. 2009; 1: 123–128. (In Russ.)

4. Guseva E. V., Skurlatov V. V., Surkin M. Ju. Intersubject integration as a means of a profiling education. *Vestnik Voennoj akademii material'no-tehnicheskogo obespechenija im. A. V. Hruleva = Bulletin of Military Academy of Material-Technical Support named after the General of the Army A. V. Khrulev*. 2015; 1: 141–146. (In Russ.)

5. Lebedeva E. N., Afonina S. N., Girina L. V., Machneva I. V., Nikonov A. A. Elective courses in teaching biochemistry as one of forms of interactive training at pharmaceutical faculty. *Medicinskij vestnik Bashkortostana. = Medical Bulletin of Bashkortostan*. 2016. V. 11. № 5 (65): 153–155. (In Russ.)

6. Barinov E. F. Elective course at the theoretical department as a basis for professional competencies formation of a physician. *Obrazovanie i nauka = The Education and Science Journal*. 2018; 20 (4): 64–83. (In Russ.)

7. Bajguzhina S. K., Kabduova A. K., Shambilova N. A. Independent work of students under the leadership of the teacher at the department of microbiology. *Medicina i jekologija = Medicine and Ecology*. 2016; 1: 111–113. (In Russ.)

8. Zanin S. A. Independent work of students as a necessary component of formation of competences when studying normal human physiology. *Mezhdunarodnyj zhurnal jeksperimental'nogo obrazovanija = International Journal of Experimental Education*. 2014; 10: 133–135. (In Russ.)

9. Kashaev R. S. Development of science and education on the basis of an interdisciplinary approach to the application of the nuclear magnetic resonance (NMR) method. *Uspehi sovremennogo estestvoznaniya = Advances in Modern Natural Science* [Internet]. 2011 [cited 2019 Jan 01]; 2: 82–87. Available from: <http://natural-sciences.ru/ru/article/view?id=15933> (In Russ.)

10. Lukashenko S. N. The model of higher school students' research competence in multilevel training (taking as the example the mathematical disciplines studies). *Obrazovanie i nauka = The Education and Science Journal*. 2012; 1 (90): 73–85. (In Russ.)

11. Karpov A. O. Scientific knowledge and systemogenesis of modern school. *Voprosy filosofii = Questions of Philosophy*. 2003; 6: 37–53. (In Russ.)

12. Dubickya, L. V., Korobkova S. A. Development of scientific thinking means in the context of teaching physics. *Sovremennye naukoemkie tehnologii = Modern High Technologies* [Internet]. 2016 [cited 2019 Jan 01]; 2: 471–475. Available from: <https://top-technologies.ru/pdf/2016/2-3/35655.pdf> (In Russ.)

13. Volkova E. V. O himicheskom myshlenii i metodah ego issledovanija. *Estestvennonauchnoe obrazovanie: novye gorizonty: sbornik statej = On the chemical thinking and the methods of its study. Science education: New horizons. Collected articles*. Ed. by V. V. Lunin, N. Ye. Kuzmenko. Moscow: Moscow State University; 2017. p. 44–58. (In Russ.)

14. Panichev S. A. Deductive principle of teaching in higher natural science education. *Pedagogika = Pedagogy*. 2004; 8: 18–28. (In Russ.)

15. Zotov A. F. Preemstvennost' nauchnogo znaniya i princip sootvetstvija. *Problemy istorii i metodologii nauchnogo poznaniya = Continuity of scientific knowledge and the correspondence principle. Problems of history and methodology of scientific knowledge*. Moscow: Publishing House Nauka; 1974. (In Russ.)

16. Litvinova T. N., Bykov I. M., Korochanskaja S. P. The implementation of the principle of continuity in the study of chemical disciplines to improve chemical education at the medical school system. *Uspehi sovremennogo estestvoznaniya = Advances in Modern Natural Science*. 2009; 9: 41–43. (In Russ.)

17. Vasilevskaya E. I., Sechko O. I. Continuity in the system of permanent chemical education: School – higher educational institution. In: *Obrazovanie cherez vsju zhizn': nepreryvnoe obrazovanie v interesah ustojchivogo razvitija: sbornik statej Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii = Lifelong learning: Continuing education for sustainable development. Collection of Articles of the International Scientific Conference* [Internet]; 2013; St.-Petersburg, 2013 [cited 2019 Jan 01]. p. 275–277. Available from: <https://cyberleninka.ru/article/n/continuity-in-the-system-of-permanent-chemical-education-school-higher-educational-institution> (In Russ.)

18. Briggs A. R. J., Clark J., Hall I. Building bridges: Understanding student transition to university. *Quality in Higher Education*. 2012; 18 (1): 3–21. DOI: 10.1080/13538322.2011.614468

19. Dalziel J. R., Peat M. Academic performance during student transition to university studies [Internet]. 1998 [cited 2019 Jan 15]. Available from: http://www.sydney.edu.au/science/uniserve_science/workshop/fye/mpjd.pdf

20. Malcolm J., Zukas M. Bridging pedagogic gaps: Conceptual discontinuities in higher education. *Teaching in Higher Education*. 2001; 6 (1): 33–42.

21. Markic S., Eilks I. A mixed methods approach to characterize the beliefs on science teaching and learning of freshman science student teachers from different science teaching domains. In: *Taşar M. F. & Çakmakci G. (eds.) Contemporary Science Education Research: Teaching. A Collection of Papers Presented at ESERA 2009 Conference*; 2010; Ankara, Turkey. Ankara, Turkey: Pegem Akademi; 2010. p. 21–28.

22. Seeman M. Alienation motifs in contemporary theorizing: The hidden continuity of the classic themes. *Social Psychology Quarterly*. 1983; 46 (3): 171–184.

23. Mihajlov L. A., Bepamjatnyh T. A., Balenko Ju. K. *Koncepcii sovremennogo este-stvoznaniya = Concepts of modern natural sciences*. Ed. by L. A. Mihajlov. St.-Petersburg: Publishing House Piter; 2012. 336 p. (In Russ.)

24. Chernobel'skaja G. M. *Metodika obuchenija himii v srednej shkole = A methodology of chemical education at high school*. Moscow: Publishing House VLADOS; 2000. 336 p. (In Russ.)

25. Juffa A. Ja., Panichev S. A. Problems and prospects of the higher chemical education. *Rossijskij himicheskij zhurnal (Zhurnal Rossijskogo himicheskogo obshhestva im. D. I. Mendeleeva) = Russian Chemical Journal (Journal of the Russian Chemical Society of D. I. Mendeleev)*. 2003; V. XLVII, 2: 93–99. (In Russ.)

26. Sirotkin O. S., Sirotkin R. O. On the concept of chemical education. *Vysshee obrazovanie v Rossii = Higher Education in Russia [Internet]*. 2001; 6: 137–139. Available from: <https://cyberleninka.ru/article/n/o-kontseptsii-himicheskogo-obrazovaniya> (In Russ.)

27. Sirotkin O. S. Traditional methodology of teaching chemistry: Problems, shortcomings and the reasons of its use in the 21st century (review). In: *Innovacii v prepodavanii himii: sbornik nauchnyh i nauchno-metodicheskikh trudov V Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii = Innovations in Teaching Chemistry. Collection of Scientific and Scientific-Methodological Works of the 5th International Scientific and Practical Conference*. Kazan: Kazan University; 2014. p. 272–277. (In Russ.)

28. Zolotov Ju. A. About teaching analytical chemistry. *Zhurnal analiticheskij himii = Journal of Analytical Chemistry [Internet]*. 2011 [cited 2017 Nov 03]: 66 (3): 3. (In Russ.)

29. 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.)

30. Kelner R., et al. *Analiticheskaja himija: problemy i podhody: v 2 t. = Analytical chemistry: Problems and approaches*. In 2 volumes. Ed. by R. Kelner,

Zh. M. Merme, M. Otto, M. Vidmer. Moscow: Publishing House Mir: AST; 2014. V. 1. 608 p.; V. 2. 768 p. (In Russ.)

31. Salamov A. H., Bokova L. M., Inarkieva Z. I., Uzahova L. Ja. Ways of improvement of teaching analytical chemistry in higher education institution. In: *Aktual'nye voprosy sovremennoj nauki: materialy XXIII Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii = Topical Issues of Modern Science. Materials of the 23rd International Scientific and Practical Conference*. Moscow; 2014. p. 42–45. (In Russ.)

32. Shehovcova T. N., Vershinin V. I. What has to be professional training of the analyst at classical universities? *Zhurnal analiticheskoy himii = Journal of Analytical Chemistry*. 2001; 56 (1): 93–100. (In Russ.)

33. Hamitova A. I., Ivanov V. G. Forms of the organisation of training of the general and inorganic chemistry in chemical and technological higher education institution through a prism of independent work of students. *Izvestija RGPU im. A. I. Gercena = Izvestia: Herzen University Journal of Humanities & Science*. 2008; 48: 115–132. (In Russ.)

34. Gilmanshina S. I. Continuous chemical education: The formation of scientific thinking. *Nauchnoe obozrenie. Pedagogicheskie nauki = Scientific Review. Pedagogical Science*. 2015; 1: 133–134. (In Russ.)

35. Ustynyuk Y. A. Lekcii po spektroskopii jadernogo magnitnogo rezonansa. Chast' 1 (vvodnyj kurs) = Lectures on nuclear magnetic resonance. Part 1 (introductory course). Moscow: Publishing House Tehnosfera; 2016. 288 p. (In Russ.)

36. Sinel'shnikova A. A., Gorbunova Ju. G., Lapkina L. A., Konstantinov N. Ju., Civadze A. Ju. Erbium complexes with tetra-15-kraun-5-phthalocyanine: Synthesis and spectroscopic research. *Zhurnal neorganicheskoy himii = Journal of Inorganic Chemistry*. 2011; 56 (10): 1442–1452. (In Russ.)

37. Vorobyeva S. N., Belyaev A. V., Fedotov M. A., Yushina V. I., Nedosekina T. I. Solid-phase condensation of sulfates of aquo ion of rhodium (III). *Zhurnal neorganicheskoy himii = Russian Journal of Inorganic Chemistry*. 2011; 56 (10): 1689–1696. (In Russ.)

38. Gajvoronskaja K. A., Gerasimenko A. V., Didenko N. A., Slobodjuk A. B., Kavun V. Ja. $\text{Li}_2\text{Mg}(\text{ZrF}_6)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$: Synthesis, X-ray diffraction, thermal and MAS NMR research. *Zhurnal neorganicheskoy himii = Russian Journal of Inorganic Chemistry*. 2013; 58 (2): 226–233. (In Russ.)

39. Rizha A., Koropchanu Je., Bolota O., Lozan V., Lipkovski Ja., Bulhak I., Bourosh P. Synthesis and the structure of the new thiocarbamide dioximates of cobalt (III) with anion $[\text{TIF}_6]^-$. *Zhurnal neorganicheskoy himii = Russian Journal of Inorganic Chemistry*. 2013; 58 (4): 506–516. DOI: 10.7868/s0044457x13040168 (In Russ.)

40. Zaharov N. A., Sencov M. Ju., Kalinnikov V. E. Nanocomposite hydroxyapatite calcium / methyl cellulose: Synthesis, properties. *Zhurnal neorganicheskoy himii = Journal of Inorganic Chemistry*. 2014; 59 (1): 3–12. (In Russ.)

41. Mahinja A. N., Il'in M. A., Jamaletdinov R. D., Bajdina I. A., Tkachev S. V., Zubareva A. P., et al. Synthesis, some properties and crystal modifications of fac- $[\text{Ru}(\text{NO})\text{Py}_2\text{Cl}_3]$. *Koordinacionnaja himija = Coordination Chemistry*. 2016; 42 (12): 741–746. DOI: 10.7868/S0132344X16120057 (In Russ.)

42. Mahinja A. N., П'ин М. А., Kabin E. V., Bajdina I. A., Galljamov M. R., Alferova N. I. Nitrosoruthenium hydroxo and aqua complexes of the trans-dipyridine series: Synthesis, structures, and characterization. *Koordinacionnaja himija = Coordination Chemistry*. 2014; 40 (5): 298–304. DOI: 10.7868/S0132344X14050089 (In Russ.)

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

44. Gilyazova I. B., Zharkikh, L. A., Kurdomonov O. I. Methodological aspects of the formation of the chemical picture of nature and scientific Outlook of students in terms of standards of the third generation. *Sovremennye problemy nauki i obrazovanija = Modern Problems of Science and Education* [Internet]. 2012 [cited 2019 Jan 20]; 3. Available from: <http://science-education.ru/ru/article/view?id=6280> (In Russ.)

45. Otto M. *Sovremennye metody analiticheskoj himii: v 2 t. T. I. = Modern methods of analytical chemistry*. In 2 volumes. V. I. Moscow: Publishing House Tehnosfera; 2003. 416 p. ISBN 5–94836–014–8 (In Russ.)

46. Zolotov Ju. A. *Novyj vek analiticheskoj himii = New age of analytical chemistry*. Moscow: Publishing House Janus – K; 2013. 248 p. (In Russ.)

47. Kuznecov V. V. Modern methods of the elementary chemical analysis in the course of analytical chemistry. *Uspehi v himii i himicheskoj tehnologii = Achievements in Chemistry and Chemical Technology*. 2014; 28, 9 (158): 95–98. (In Russ.)

Информация об авторах:

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

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

Мажи Адинаф – профессор Химического факультета Университета Висва-Бхарати (Центрального), Сантиникетан, 731235, Индия. E-mail: adinath.majee@visva-bharati.ac.in

Вклад соавторов. Авторы внесли равный вклад в подготовку публикации.

Статья поступила в редакцию 07.02.2019; принята в печать 15.05.2019. Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Information about the authors:

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, Ekaterinburg, Russia. E-mail: baikova@yandex.ru

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, Ekaterinburg, Russia. E-mail: 89122269153@mail.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, Ekaterinburg, Russia. E-mail: eanik1311@mail.ru

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

Adinath Majee – Professor, Department of Chemistry, Visva-Bharati (A Central University), Santiniketan-731235, India. E-mail: adinath.majee@visva-bharati.ac.in

Contribution of the authors. The authors have made equal contributions to the preparation of the present article.

Received 07.02.2019; accepted for publication 15.05.2019.

The authors have read and approved the final manuscript.