

УДК 372.854

DOI: 10.18384/2949-4974-2025-1-108-120

ВОЗМОЖНОСТИ ВКЛЮЧЕНИЯ ВОПРОСОВ СУПРАМОЛЕКУЛЯРНОЙ ХИМИИ В СОДЕРЖАНИЕ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ ПРИ ПОДГОТОВКЕ УЧИТЕЛЯ

Сутягин А. А., Меньшиков В. В., Лисун Н. М.

*Южно-Уральский государственный гуманитарно-педагогический университет.
454074, г. Челябинск, ул. Бажова, д 46а, Российская Федерация*

Аннотация

Цель. Целью статьи является демонстрация возможности использования лабораторных работ, выполняемых в рамках учебных дисциплин химической подготовки учителя, для визуализации эффектов межмолекулярных взаимодействий, лежащих в основе формирования супрамолекулярных структур, с целью расширения представлений в области супрамолекулярной химии.

Методология и методы. Для достижения поставленной цели использовались теоретические и практические методы: анализ и синтез методической литературы; апробация химического лабораторного эксперимента.

Результаты. Отобраны темы учебных дисциплин плана подготовки бакалавров по направлению «Педагогическое образование, профиль «Биология. Химия», в содержание которых могут быть включены вопросы, раскрывающие общие представления о формировании, особенностях строения и функционирования супрамолекулярных систем. Предложены примеры лабораторных работ, выполнение которых позволяет продемонстрировать проявления отдельных видов межмолекулярных взаимодействий как основы существования супрамолекулярных систем.

Теоретическая и/или практическая значимость. Отобраны примеры лабораторных работ, демонстрирующих проявления отдельных видов межмолекулярных взаимодействий (водородные связи, ион-дипольные, диполь-дипольные), на основе которых происходит формирование молекулярных ансамблей, обуславливающее изменения свойств системы. По мнению авторов, выполнение представленных лабораторных работ будет способствовать развитию у будущих учителей химии базовых представлений об особенностях строения и функционирования супрамолекулярных систем и формированию ключевых понятий супрамолекулярной химии для дальнейшего переноса полученных знаний в информационное пространство школьного химического образования. Возможность реализации предложенных лабораторных работ в рамках школьного курса химии как на уроках, так и во внеурочной работе при организации проектной и исследовательской деятельности, может позволить обучающимся ознакомиться с вопросами супрамолекулярной химии, как одного из крупнейших направлений развития химической науки на современном этапе.

Выводы. Влияние роли выполнения предложенных в статье вариантов лабораторных работ на сформированность у студентов представлений о химии супрамолекулярных систем требует дальнейшей экспериментальной проверки. Обоснование визуальных эффектов, наблюдаемых при выполнении данных работ, с позиции проявления различных вариантов межмолекулярных взаимодействий может выступать основой для развития представлений о структурной организации супрамолекулярных систем и их функционировании как на уровне химических реакций, так и на уровне работы молекулярных ансамблей в процессе жизнедеятельности высокоорганизованных биологических систем.

Ключевые слова: подготовка учителя химии, содержание химического образования, лабораторный химический эксперимент, супрамолекулярная химия, межмолекулярные взаимодействия

Благодарности. Исследование выполнено при финансовой поддержке ФГБОУ ВО «Мордовский государственный педагогический университет им. М. Е. Евсевьева» в рамках научного проекта «Методическое обоснование места понятий о супрамолекулярной химии в системе подготовки учителя химии» (договор №16-694 от 01.07.2024).

POSSIBILITIES OF SUPRAMOLECULAR CHEMISTRY ISSUES INCLUSION INTO THE CONTENT OF LABORATORY WORKS DURING TEACHER TRAINING

A. Sutyagin, V. Menshikov, N. Lisun

*South Ural State Humanitarian Pedagogical University
ul. Bazhova, 46a, Chelyabinsk, 454074, Russian Federation*

Abstract

Aim. To present the possibility of using the content of laboratory works carried out within the framework of the academic disciplines of chemical training to demonstrate the effects of intermolecular interactions underlying the formation of supramolecular structures in order to expand the future chemistry teachers' understanding of ideas about supramolecular chemistry.

Methodology. To achieve the set goal, theoretical and practical methods were used: analysis and synthesis of methodological literature; testing of a chemical laboratory experiment.

Results. The topics of the academic disciplines of the bachelor's degree program "Pedagogical education, profile "Biology. Chemistry" have been selected, the content of which may include questions that reveal general ideas about the formation, structural features and functioning of supramolecular systems. Examples of laboratory work are given, the implementation of which allows demonstrating the manifestations of individual types of intermolecular interactions as the basis for the existence of supramolecular systems.

Theoretical and/or practical significance. The authors selected the examples of laboratory works demonstrating the manifestations of individual types of intermolecular interactions (hydrogen bonds, ion-dipole, dipole-dipole) on the basis of which the formation of molecular ensembles occurs, causing changes in the properties of the system. According to the authors, the implementation of the presented laboratory works will contribute to the development of future chemistry teachers' basic ideas about the features of the structure and functioning of supramolecular systems, and the formation of supramolecular chemistry key concepts for the further transfer of the acquired knowledge to the information space of school chemistry education. The possibility of implementing the proposed laboratory works within the framework of the school chemistry course both in lessons and in extracurricular work when organizing project and research activities can allow students to get acquainted with the issues of supramolecular chemistry as one of the largest areas of development of chemical science at the present stage.

Conclusions. The influence of the role of performing the laboratory work options proposed in the article on the formation of students' ideas about the chemistry of supramolecular systems requires further experimental verification. Substantiation of the practical results obtained during the performance of these laboratory works, from the position of the manifestation of various options for intermolecular interactions, can serve as a basis for developing ideas about the structural organization of supramolecular systems and their functioning both at the level of chemical reactions and at the level of the work of molecular ensembles in the process of vital activity of highly organized biological systems.

Keywords: chemistry teacher training, chemical education content, laboratory chemical experiment, supramolecular chemistry, intermolecular interactions

Acknowledgments. The study was carried out with the financial support of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Mordovian State Pedagogical University named after M. E. Evseviev” within the framework of the scientific project “Methodological substantiation of the place of supramolecular chemistry concepts in the chemistry teacher training system” (agreement No. 16-694 dated 01.07.2024).

ВВЕДЕНИЕ

Проблема содержания учебных предметов всегда выступала в качестве одного из дискуссионных вопросов образования. В рамках школьного образования она становится особенно актуальной, что связано с бурным развитием науки и производственных технологий и необходимостью формирования портрета выпускника школы, соответствующего запросам современного общества. Г. В. Эрлих отмечает, что за последние десятилетия химическая наука претерпела существенные изменения и, особенно с началом эпохи нанотехнологий, далеко ушла от концепций, рассматриваемых в содержании школьных учебников, базирующемся на научных представлениях прошлого века [13, с. 32]. К современным химическим понятиям, сущность которых не раскрывается в содержании школьного химического образования, он относит супрамолекулярную химию.

Проблема необходимости пересмотра содержания, логической структуры и программ школьного химического образования, основанных на учёте стремительно развивающихся и усложняющихся теоретических моделей, структур и терминологии современной химии, обозначена в работах В. В. Ерёмина, В. В. Лунина и др. По их мнению, современная химия должна находить отражение на школьном уровне с учётом изменений её социальной роли и общественного интереса для решения основных задач – изучение функций веществ в сложных химических и биологических системах, анализ связи структуры и функций вещества, синтез веществ с заданными функциями [5, с. 88].

В то же время Г. В. Эрлих отмечает, что избыточная погоня школьного содержания за современным уровнем развития науки может привести к потере понимания фундаментальных основ химии, связанному с «перегруженностью» научной информацией, в том числе не соответствующей уровню развития обучающихся, что повлечёт за собой снижение качества усвоения базового содержания, необходимого для получения обязательного минимума знаний по предмету. В связи с этим, необходима тщательная оценка содержания учебного предмета с целью выделения в нём разделов и тем, в структуру которых рационально включение новых знаний, а также определение приёмов и методов, которые позволят представить их в форме, адаптированной к уровню подготовки обучающихся [13, с. 33].

К одной из перспективных областей химической науки, содержание которой, как уже указывалось, не отражено в школьном курсе химии, относится супрамолекулярная химия, зародившаяся в 70-х годах прошлого века, и характеризующаяся бурным развитием. Достижения этой науки широко используются в современных производственных технологиях (пищевой, косметической, фармацевтической), в области защиты окружающей среды, создания перспективных материалов. Предметом её изучения являются надмолекулярные химические системы, организованные на основе нековалентных химических взаимодействий.

Необходимость включения знаний о супрамолекулярных системах и их функционировании обусловлена требованиями обновлённого ФГОС СОО, в котором

в качестве требований к результатам обучения обозначена сформированность представлений о роли химии в обеспечении устойчивого развития человечества: в решении проблем экологической, энергетической и пищевой безопасности, в развитии медицины, создании новых материалов, т. е. направлений, в которых супрамолекулярные системы играют первоочередную роль. Стандарт предполагает, что на углублённом уровне обучающиеся должны иметь представления не только об атомной и молекулярной, но и о надмолекулярной природе строения вещества¹, рассмотрению которой в школьном курсе практически не уделяется внимания, и которая ярко раскрывается на примере супрамолекулярных систем [12, с. 48]. Супрамолекулярная химия выступает в качестве междисциплинарного раздела, с её объектами обучающиеся сталкиваются при изучении различных разделов биологии. Обеспечение межпредметных подходов позволит более полно раскрыть роль строения и структуры химических систем в формировании их функций на уровне биологической организации [3; 4].

Изменение содержания образования ставит перед педагогическими вузами актуальную задачу подготовки современного учителя, который хорошо знаком с современными направлениями химических исследований, способен определить место информации о них в структуре и содержании урока химии. В то же время, в учебных планах подготовки учителей химии на уровне бакалавриата дисциплина «Супрамолекулярная химия» отсутствует, либо включена как дисциплина по выбору, что вызывает проблемы при

формировании понятий данного направления [11, с. 200]. В качестве одного из путей решения данной проблемы может выступать включение информации о супрамолекулярных системах в содержание отдельных дисциплин химической направленности, при этом данный процесс должен иметь системный характер, начиная с первого года обучения и заканчивая обобщающими дисциплинами выпускного курса. Важную роль при этом играет использование потенциала лабораторного химического эксперимента, позволяющего визуализировать сложные процессы, лежащие в основе формирования и функционирования супрамолекулярных систем, прежде всего – эффекты межмолекулярных взаимодействий. В связи с этим существует проблема отбора лабораторных работ, которые будут наглядно демонстрировать проявления межмолекулярных взаимодействий в различных системах.

Цель исследования – продемонстрировать возможности использования лабораторных работ, реализуемых при подготовке учителя химии на различных этапах обучения для демонстрации эффектов межмолекулярных взаимодействий как основы формирования и функционирования супрамолекулярных систем. Для достижения цели решался ряд задач:

1) отбор отдельных тем в рамках учебных предметов химической подготовки учителя химии, в содержание которых могут быть логично включены вопросы супрамолекулярной химии;

2) выбор лабораторных химических экспериментов, в рамках выполнения которых наблюдаются визуальные эффекты проявлений межмолекулярных взаимодействий;

3) апробация отобранных лабораторных химических экспериментов в рамках учебных занятий по дисциплинам химической подготовки.

Для достижения цели и решения поставленных задач применялись теоре-

¹ Приказ Министерства просвещения Российской Федерации от 12.08.2022 №732 «О внесении изменений в федеральный государственный образовательный стандарт среднего общего образования, утверждённый приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 17 мая 2012 г. №413» (зарегистрирован Минюстом России 12.09.2022 №70034). URL: <https://edsoo.ru/normativnye-dokumenty> (дата обращения: 18.09.2024).

тические (анализ методической литературы) и практические (выполнение лабораторного химического эксперимента) методы исследования.

Теоретико-методологической основой исследования является необходимость обеспечения преемственности изучения химии: последовательного перехода от представлений об атомном строении к молекулярному уровню, основанному на образовании химических связей между атомами и ионами, а затем – к надмолекулярному уровню, базирующемуся на представлениях о внутримолекулярных и межмолекулярных (преимущественно, нековалентных) взаимодействиях, проявляющихся на уровне молекулярных ансамблей и надмолекулярных биологических систем. Данный подход опирается на взаимосвязи форм движения материи: физическая (уровень элементарных частиц и атомов), химическая (уровень молекул) и биологическая (уровень функционирования супермолекул и молекулярных агрегатов) [7, с. 111; 10, с. 1271].

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Обеспечение преемственности и наглядности лабораторного химического эксперимента при изучении вопросов супрамолекулярной химии. В связи с необходимостью обеспечения последовательности изучения и преемственности содержания химического образования рассматривается возможность поэтапного включения в содержание лабораторных работ вопросов супрамолекулярной химии, начиная с первого года обучения, в рамках которого изучаются понятия общей и неорганической химии, через промежуточные учебные курсы (изучение вопросов физической и коллоидной, аналитической, органической, биологической химии), до завершающего этапа (область прикладной химии и химического синтеза).

В основе отбора используемых химических экспериментов лежит принцип

наглядности, позволяющий конкретизировать представления о природе и проявлениях межмолекулярных взаимодействий, лежащих в основе формирования молекулярных ансамблей и надмолекулярных систем, на основе наблюдаемых при проведении лабораторных работ визуальных эффектов, обусловленных этими взаимодействиями. Важную роль при подготовке учителя играет возможность реализации предлагаемых лабораторных работ в условиях школьной химической лаборатории: отсутствие сложного, труднодоступного оборудования и материалов, возможность объяснения наблюдаемых в эксперименте визуальных эффектов и установленных закономерностей на основе знаний, формирующихся в рамках школьного курса химии.

Использование лабораторного химического эксперимента для демонстрации эффектов, обусловленных образованием водородных связей и клатратообразованием. Изучение химического строения – ключевой вопрос, формирующий фундамент представлений о химических свойствах и поведении веществ в различных условиях. В связи с этим, на первом курсе в рамках изучения дисциплины «Общая и неорганическая химия» большое внимание уделяется вопросам механизмов образования химической связи, её типов, и кристаллической структуры вещества, обусловленной этими типами. При этом наибольшая роль уделяется изучению соединений с ковалентным типом связывания (полярного и неполярного), а также ионным соединениям, в которых ионная связь может быть представлена как граничный пример ковалентной полярной связи.

Другим примером связывания, близким к ковалентному, но отличающимся особенностями образования и своими характеристиками, является водородная связь. Её проявления могут быть продемонстрированы в рамках изучения темы «Химическая связь и строение молекул. Агрегатные состояния вещества. Кри-

сталлы» при выполнении лабораторной работы «Температуры кипения жидкостей, образованных близкими по строению химическими соединениями». Целью работы является демонстрация изменений физических свойств вещества, обусловленных образованием молекулярных агрегатов за счёт системы водородных связей. При выполнении работы с помощью простого прибора для перегонки определяется температура кипения дистиллированной воды, этилового спирта и диэтилового эфира. Для нагрева дистиллированной воды используют воздушную или песчаную баню, этиловый спирт нагревают на кипящей водяной бане, а диэтиловый эфир – на водяной бане, нагретой до температуры 40–50°C.

При проведении эксперимента наблюдается резкое снижение температур кипения веществ в ряду вода – спирт – эфир, несмотря на увеличение в данном ряду молекулярной массы соответствующих веществ. Объяснение этого явления требует представлений о водородных связях, как основе агрегации при формировании структур указанных веществ. Так, молекулы воды за счёт образования водородных связей формируют устойчивые молекулярные агрегаты, разрушение которых при переходе из жидкого состояния в газообразное требует существенных затрат энергии. Молекулы этанола также образуют между собой водородные связи, но в меньших количествах, в результате переход в газообразное состояние облегчается. Молекулы же диэтилового эфира не способны к самоагрегации за счёт водородных связей, в результате чего вещество характеризуется низкой температурой кипения, быстро самопроизвольно испаряясь даже при нормальных условиях. Таким образом, изменение температур кипения в данном эксперименте визуализирует представления о вкладе водородных связей в формирование структуры и свойств вещества.

В дальнейшем подобный эксперимент может быть проведён на уровне конкре-

тизации представлений о роли водородных связей на третьем курсе в рамках дисциплины «Органическая химия» при изучении свойств спиртов. Так, при выполнении лабораторной работы «Изменение температуры изомерных спиртов в процессе их испарения» в чашки для упаривания помещают одинаковые объёмы спиртов: н-бутилового, изо-бутилового и трет-бутилового, и определяют с помощью термометра температуру веществ. Затем проводят измерения температуры спиртов с интервалом в 1 минуту в течение 10 минут. Анализ результатов наблюдений показывает, что максимум снижения температуры вещества, обусловленный лёгкостью испарения, характерен для трет-бутанола. минимум – для н-бутанола. Полученные результаты позволяют сделать вывод о влиянии строения углеводородного радикала на способность к образованию водородных связей и к самоагрегации: увеличение разветвлённости скелета приводит к ослаблению межмолекулярных взаимодействий и повышению лёгкости испарения вещества [6, с. 100–101].

Выполнение работы, связанной с изучением физических свойств вещества, обусловленных вкладом водородных связей, может сопровождаться теоретическими вопросами, конкретизирующими данный вклад. Например, студентам необходимо объяснить, почему вода характеризуется повышением плотности и снижением объёма при повышении температуры от 0 до +4°C. Одним из объяснений данной аномалии является особенность слоистой кристаллической структуры льда, обусловленной наличием водородных связей [9, с. 111]. При повышении температуры до +4°C происходит частичный разрыв водородных связей, и оторвавшиеся молекулы воды заполняют межслойные пространства, что приводит к увеличению плотности и снижению объёма системы. На данном примере демонстрируется роль водородных связей в образовании молекулярных

агрегатов, в том числе клатратов, как одного из распространённых видов надмолекулярных систем.

Процесс образования клатратов может быть рассмотрен на примере известного эксперимента взаимодействия йода с крахмалом, который логично использовать в курсе органической химии при изучении свойств полисахаридов. В то же время упоминание о клатратных соединениях йода происходит ранее в курсе аналитической химии, где его проявление широко используется как аналитический сигнал (появление синей окраски, характерной для клатратных комплексов крахмала с йодом) с целью количественного анализа, например, при йодометрическом титровании. В то же время растворы крахмала не всегда проявляют данное свойство, и окраска растворов, образующихся при связывании, может существенно меняться в зависимости от концентрации йода, pH среды и от природы используемого крахмала.

Для проведения эксперимента могут быть использованы различные растворы крахмала: свежеприготовленный раствор водорастворимого крахмала; раствор водорастворимого крахмала, находившийся при комнатной температуре в течение одной недели; раствор, находившийся при комнатной температуре и подкисленный серной кислотой; домашняя мука. К растворам, приготовленным с использованием одинаковых масс крахмала (0,5 г на 100 см³ воды), прибавляется по 2–3 капли спиртового раствора йода, и отмечается окраска раствора. Свежеприготовленный раствор крахмала содержит в своей структуре большее количество амилозы, образующей с йодом клатратные комплексы синей окраски (амилоидин), обусловленной включением молекул йода внутрь двойных спиралей амилозы. Длительное отстаивание раствора при комнатной температуре приводит к частичному гидролизу полимера и увеличению в структуру раствора вклада амилопектина и декстринов, способных к образо-

ванию комплексов красно-фиолетового цвета (амилопектоидин), образованных за счёт адсорбции молекул йода на разветвлённую поверхность амилопектина и декстринов. Добавление в систему кислоты приводит к усилению гидролиза, в результате чего после добавления йода формируется раствор клатратного комплекса с окраской, приближающейся к бурой. Крахмал, получаемый из различных сырьевых источников, может содержать амилозу, амилопектин и декстрины в различных соотношениях, что приводит к получению различных окрасок клатратных растворов, по которым можно сделать предположение о преобладании в структуре полимера той или фракции [16].

Взаимодействие с молекулами воды оказывает специфическое воздействие на физико-химические свойства растворённых веществ, что отражается в кооперативности, приводящей к усилению взаимодействий в многокомпонентных системах. Именно явление кооперативности обуславливает устойчивость супрамолекулярных ансамблей в живых системах [2, с. 82]. Оно может быть продемонстрировано при проведении лабораторного эксперимента по теме «Электролитическая диссоциация» при изучении вопросов общей и неорганической химии. Для проведения опыта в бюретку объёмом 50 см³ нужно поместить 25 см³ воды, подкрашенной произвольно небольшим количеством водорастворимого красителя, например, хризоидина. На полученный раствор аккуратно приливается 25 см³ ацетона, и отмечается уровень двуслойной системы. Бюретку плотно затыкают пробкой, перемешивают систему, дают отстояться и отмечают изменение её вида и объёма.

При смешивании окрашенного раствора с ацетоном сначала наблюдается расслоение (более лёгкий ацетон находится на поверхности более тяжёлого окрашенного раствора). При дальнейшем перемешивании происходит формирова-

ние однородного окрашенного раствора, что связано с образованием слабых водородных связей между молекулами ацетона и воды [15]. Растворение сопровождается уменьшением объёма в результате межмолекулярных взаимодействий, способствующих образованию молекулярных ансамблей с более плотной упаковкой.

К полученному раствору прибавляют несколько кристаллов гидрофобного красителя, например, метилового красного, перемешивают и отмечают изменение вида системы – образование однородного раствора (краситель растворяется в ацетоне) с наложением цветов двух красителей.

Затем к раствору прибавляют большое количество твёрдого хлорида или карбоната натрия, перемешивают, отстаивают и наблюдают изменение: формирование нижнего слоя с окраской водорастворимого красителя и верхнего слоя с окраской гидрофобного красителя. Разделение системы связано с процессом электролитической диссоциации молекул соли: образование катионов и анионов с последующей гидратацией образующихся ионов приводит к нарушению системы слабых водородных связей «ацетон – вода», что вызывает расслоение и перераспределение гидрофобного и гидрофильного красителей.

В результате при проведении данного опыта студенты знакомятся с проявлением двух эффектов: образование водородных связей, приводящих к растворению, и процесс электролитической диссоциации, образование гидратированных ионов, приводящий к нарушению системы водородных связей и разделению двух жидкостей. Данный эксперимент в виде демонстрации может быть реализован в школьной лаборатории с использованием высокого мерного цилиндра (объём 500–1000 см³). При проведении эксперимента необходимо обязательно использовать вытяжной шкаф.

В дальнейшем, на четвёртом курсе студенты могут конкретизировать представления о кооперативном действии в рамках изучения биологической химии, выполняя лабораторные эксперименты по высаливанию и денатурации белков¹. Компактная упаковка макромолекул биополимеров обусловлена, прежде всего, системой нековалентных взаимодействий разного характера. Введение в систему электролитов, например, растворов солей, приводит к нарушению плотной упаковки и процессам разрушения высших структур биополимеров.

Ещё ярче данный эксперимент может быть продемонстрирован путём получения трёхслойной системы, разделение компонентов которой обусловлено нарушением межмолекулярных взаимодействий². Если к водному раствору этилового спирта (1:1) прибавлять сухой карбонат калия, то в результате нарушения системы водородных связей происходит разделение системы: слой спирта располагается над поверхностью воды. При добавлении к данной системе кристаллов медного купороса водный слой окрашивается в синий цвет. Если к полученной системе прибавить ксилол, окрашенный красителем, например, суданом, то формируется трёхслойная система: нижний слой (водный) – синий, средний (спиртовой) – бесцветный, и верхний (ксилольный) – красный. Молекулы ксилола способны к образованию лишь очень слабых водородных связей с молекулами воды, а структура ксилола стабилизируется системой π - π -стекинг – взаимодействий, поэтому ксилол не способен смешиваться ни с водной, ни со спиртовой средой

¹ Носарева О. Л., Степовая Е. А., Шахристова Е. В., Спирина Л. В. Лабораторный практикум по биохимии для студентов лечебного и педиатрического факультетов: учебное пособие. Томск: Сибирский государственный медицинский университет, 2023. 165 с.

² Иванова М. А., Кононова М. А. Химический демонстрационный эксперимент: учебное пособие для студентов химических специальностей вузов. М.: Высшая школа, 1984. 208 с.

[14]. Молекулы спирта, способные к образованию водородных связей, будут ориентированы к молекулам воды, но не будут смешиваться с ними из-за нарушения молекулярной агрегации, вызванной присутствием гидратированных ионов.

Использование лабораторного химического эксперимента для демонстрации комплексообразования за счёт хелатирования и макроциклического эффекта. Важной с позиции знаний о строении вещества и связанных с ними свойствах при изучении дисциплины «Общая и неорганическая химия», является тема «Комплексные соединения», выступающая в качестве одной из основополагающих с позиции развития представлений о супрамолекулярных системах. Зарождение супрамолекулярной химии началось с исследования процессов комплексообразования, в частности – связывания ионов металлов молекулярными системами [8, с. 157]. Достаточно подробно в учебном процессе рассматриваются примеры образования комплексных соединений d-элементов на примере аммиакатов и гидроксокомплексов. В то же время в лабораторном практикуме недостаточное внимание уделяется примерам немолекулярного связывания, при котором структуры стабилизируются за счёт хелатного и макроциклического эффектов.

Примером демонстрации роли хелатного эффекта может быть использование диэтилдитиокарбамата для связывания ионов меди (II) с образованием комплексного соединения жёлтого цвета. Первоначально студенты могут провести известный опыт по получению аммиаката меди: к 1%-му раствору соли Cu (II) (хлорид или сульфат) прибавляют по каплям концентрированный раствор аммиака до выпадения осадка, а затем до полного его растворения с образованием тёмно-синего раствора комплексного соединения.

Во втором опыте к 50 см³ раствора соли Cu (II) с содержанием меди 0,6 мг/дм³ прибавляют 5 см³ раствора аммиака

(1:4) и 5 см³ 0,1%-го раствора диэтилдитиокарбамата натрия. Отмечают появление жёлтой окраски раствора, характерной для карбаматного комплекса меди. На основании этого опыта можно сделать вывод о том, что при конкуренции двух комплексообразователей происходит образование более устойчивого комплекса. При этом, стабилизация карбаматного комплекса (его большая устойчивость по сравнению с аммиакатом) обусловлена проявлением хелатного эффекта, играющего важнейшую роль при образовании супрамолекулярных систем, например, при связывании катионов металлов.

В дальнейшем данный химический эксперимент может быть использован при изучении вопросов аналитической химии и химии окружающей среды, где карбаматный метод может быть использован как для качественного, так и количественного анализа содержания ионов меди в растворах. При этом важно, что его использование возможно в присутствии в растворе катионов других металлов, особенно при совместном действии с популярным хелатообразующим реагентом-трилоном Б. В данном случае демонстрируется важнейшее свойство супрамолекулярных систем: избирательность связывания и молекулярное распознавание, лежащее в основе селективности функционирования молекулярных ансамблей.

Влияние на селективность связывания ионов рН-среды ярко проявляется при выполнении лабораторных работ, связанных с определением различных ионов с помощью трилона Б, позволяющего количественно определять катионы при совместном присутствии при различных значениях рН среды. Так, при совместном присутствии в растворе катионов кальция и магния при значении рН=10 происходит хелатирование обоих катионов, что позволяет определить их суммарное количество в растворе в присутствии металлоиндикатора – эриохрома. При значениях же рН = 12 происходит селек-

тивное связывание комплексом только ионов кальция, в то время как ионы магния связываются и выпадают в осадок в виде гидроксида. В результате в растворе количественно определяются катионы кальция с использованием металлоиндикатора – мурексида¹. Изменение условий среды, в данном случае – её кислотности, может приводить к изменению структуры центров связывания – предорганизации молекулы комплексообразователя, что повышает селективность комплексообразования за счёт связывания субстрата, соответствующего по своим размерам конфигурации центров связывания.

Процесс предорганизации выступает в качестве важнейшего этапа работы супрамолекулярных систем, который в дальнейшем конкретизируется при изучении механизмов и принципов действия ферментов, как селективных биологических катализаторов, а также функционирования целого ряда биологически активных молекул в рамках изучения курса «Биологическая химия». Так, в рамках лабораторных работ может быть проведён эксперимент по исследованию свойств хлорофилла путём замещения в молекуле катиона магния на другие ионы. Для проведения эксперимента используют спиртовую вытяжку хлорофилла, полученную экстракцией из растёртых зелёных листьев этиловым спиртом объёмом 20–25 см³. К экстракту объёмом 2–3 см³ прибавляют 2 капли 10%-ой соляной кислоты, при этом наблюдается появление бурой окраски, обусловленной замещением катионов магния в структуре хлорофилла на протоны (образование феофитина). Данный эксперимент демонстрирует проявление слабых взаимодействий между катионами магния и

атомами азота порфиринового кольца в структуре хлорофилла.

К полученному раствору феофитина прибавить несколько кристаллов ацетата меди (II) или ацетата цинка. При этом наблюдается восстановление зелёной окраски раствора, которая свидетельствует об образовании более устойчивых по сравнению с катионами магния комплексов порфиринового кольца с катионами цинка или меди. Устойчивость полученных комплексов обусловлена структурным соответствием катионов с центрами связывания (радиусом ионов), а также проявлением хелатного и макроциклического эффектов. На основе подобных превращений могут быть получены различные варианты красителей природного происхождения за счёт замещения магния на катионы железа, кобальта, никеля (менее стабильные по сравнению с магнием комплексы образуют катионы кадмия и ртути), что демонстрирует потенциальные возможности применения супрамолекулярных систем в практической деятельности [1, с. 205].

В дальнейшем все описанные экспериментальные работы могут быть трансформированы в варианты исследовательских и проектных работ, что может быть использовано в рамках лабораторных работ по дисциплинам «Прикладная химия» и «Внеурочная деятельность школьников по химии».

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе проведённого исследования выполнен анализ тем учебных дисциплин плана подготовки бакалавров по направлению «Педагогическое образование, профиль «Биология. Химия» и отобраны темы, в рамках которых могут раскрываться понятия супрамолекулярной химии при выполнении лабораторных работ. Отобраны лабораторные работы, включение которых в содержание учебного практикума соответствующих дисциплин позволяет раскрывать поня-

¹ Булатов А. В., Кучумова И. Д., Савинов С. С. Аналитическая химия. 1. Химические методы анализа: методические указания к практикуму. СПб.: Санкт-Петербургский государственный университет, 2018. 90 с.

тийный аппарат и представления о межмолекулярных взаимодействиях как основе формирования супрамолекулярных систем.

Проведённый в ходе исследования анализ содержания дисциплин учебного плана подготовки бакалавров по направлению «Педагогическое образование», профиль «Биология. Химия» показал, что во всех дисциплинах профильной части «Химия» присутствуют темы, позволяющие включить в содержание их лабораторного практикума экспериментальные работы, раскрывающие и визуализирующие представления о супрамолекулярной химии. Это позволяет развивать представления о данном современном направлении химической науки постепенно, на всех этапах обучения студента на основе принципов преемственности содержания и междисциплинарных подходов.

Считаем, что выполнение отобранных лабораторных работ позволяет раскрывать базовые представления о супрамолекулярных системах, построенных на основе взаимодействий, отличных от ковалентных, одновременно расширяя и конкретизируя понятия, изучаемые в рамках дисциплины. Представленные лабораторные работы могут быть реализованы в рамках школьного курса химии как на уроках, так и во внеурочной работе при организации проектной и исследовательской деятельности обучающихся, что является важнейшим элементом формирования профессиональных компетенций будущего учителя химии, способного познакомить обучающихся с представлениями химической науки, соответствующими уровню её развития на современном этапе.

Дата поступления в редакцию 24.09.2024

ЛИТЕРАТУРА

1. Березин Б. Д., Румянцева С. В., Морыганов А. П. Химические превращения хлорофилла и его использование для создания экологически чистых красителей нового поколения // Успехи химии. 2004. №73 (2). С. 197–207. DOI: 10.1070/RC2004v073n02ABEN000773.
2. Варфоломеев М. А., Зайцева К. В., Маджидов Т. И. Исследование кооперативности водородного связывания ацетона с водой // Учёные записки Казанского университета. Серия: Естественные науки. 2012. Т. 154. №1. С. 82–90.
3. Волкова С. А., Ибатуллин А. А., Рогатых С. В. О включении основ нанохимии в содержание школьного химического образования // Химия в школе. 2023. №6. С. 19–24.
4. Волкова С. А., Паршутина Л. А. Супрамолекулярная химия как источник обновления содержания школьного естественнонаучного образования // Педагогический журнал Башкортостана. 2018. №2 (75). С. 15–23. DOI: 10.21510/1817-3292-2018-2-15-23
5. Еремин В. В., Кузьменко Н. Е., Лунин В. В. Школьное химическое образование в России: стандарты, учебники, олимпиады, экзамены // Российский химический журнал (Журнал Российского химического общества им. Д.И. Менделеева). 2003. Т. XLVII. № 2. С. 86–92.
6. Зимина А. И., Дорофеев М. В. Изучение испарения на уроках химии с использованием цифровых лабораторий // Вестник Московского государственного педагогического университета. Серия: Естественные науки. 2012. №1 (9). С. 98–105.
7. Короткова А. В., Плужник О. М., Потемкина Н. М. Супрамолекулярная химия как одно из перспективных направлений развития химической науки // Успехи современной науки и образования. 2017. Т. 2. №6. С. 109–117.
8. Миронова М. Г. История становления и методология супрамолекулярной химии // Исторические ретроспективы и современные тенденции в физической химии, радиохимии и коррозионных исследованиях: коллективная монография. М.: Граница, 2020. С. 141–191.
9. Николаев А. Ф. Современный взгляд на структуру воды // Известия Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета). 2007. №1 (27). С. 110–115.
10. Разумов В. Ф. Фундаментальные проблемы химии супрамолекулярных и наноразмерных структур // Известия Академии наук. Серия химическая. 2012. №7. С. 1276–1284.

11. Сутягин А. А., Меньшиков В. В. Изучение понятий супрамолекулярной химии при подготовке будущих учителей // Актуальные проблемы естественно-технологического образования: сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции. Саранск, 14–15 марта 2019 г. / под ред. М. В. Лабутиной, Т. А. Маскаевой, В. В. Панькиной. Саранск: Издательство Мордовского государственного педагогического института имени М. Е. Евсевьева, 2019. С. 198–203.
12. Торосян В. Ф. К содержанию современного курса химии // Химия в школе. 2013. №8. С. 47–49.
13. Эрлих Г. В. Какая химия должна изучаться в современной школе? // Российский химический журнал (Журнал Российского химического общества им. Д. И. Менделеева). 2011. Т. LV. №4. С. 28–36.
14. Fabbrizzi L. Beyond the molecule: intermolecular forces from gas liquefaction to X–H π hydrogen bonds // ChemPlusChem. 2022. V. 87. №1. URL: <https://chemistry-europe.onlinelibrary.wiley.com> (дата обращения: 10.10.24). DOI: 10.1002/cplu.202100243.
15. Kuntzleman T., Matti A., Tomco D. Chemistry in a Bottle // Journal of Chemical Education. 2024. Vol. 101. №8. P. 3606–3610. DOI: 10.1021/acs.jchemed.4c00598.
16. Ding L., Zhang J., Li J. Color catcher: a marvelous encounter of starch and iodine // University Chemistry. 2024. Vol. 39. №6. P. 334–341. DOI: 10.3866/PKU.DXHX202311064.

REFERENCES

1. Berezin B. D., Rumyantseva S. V., Moryganov A. P. [Chemical transformations of chlorophyll and its use for creating environmentally friendly dyes of a new generation]. In: *Uspekhi himii* [Uspekhi Chem]. 2004. №73 (2). S. 197–207. DOI: 10.1070/RC2004v073n02ABEH000773.
2. Varfolomeev M. A., Zaitseva K. V., Madzhidov T. I. [Study of the cooperativity of hydrogen bonding of acetone with water]. In: *Uchyonye zapiski Kazanskogo universiteta. Seriya: Estestvennye nauki* [Scientific Notes of Kazan University. Series: Natural Sciences], 2012, vol. 154, no. 1, pp. 82–90.
3. Volkova S. A., Ibatullin A. A., Rogatykh S. V. [On the inclusion of the basics of nanochemistry in the content of school chemistry education]. In: *Himiya v shkole* [Chemistry at school], 2023, no. 6, pp. 19–24.
4. Volkova S. A., Parshutina L. A. [Supramolecular chemistry as a source of updating the content of school natural science education]. In: *Pedagogicheskij zhurnal Bashkortostana* [Pedagogical journal of Bashkortostan], 2018, no. 2 (75), pp. 15–23. DOI: 10.21510/1817-3292-2018-2-15-23.
5. Eremin V. V., Kuzmenko N. E., Lunin V. V. [School chemistry education in Russia: standards, textbooks, olympiads, exams]. In: *Rossijskij himicheskij zhurnal (Zhurnal Rossijskogo himicheskogo obshchestva im. D. I. Mendeleeva)* [Russian Chemical Journal (Journal of the D. I. Mendeleev Russian Chemical Society)], 2003, vol. XLVII, no. 2, pp. 86–92.
6. Zimina A. I., Dorofeev M. V. [Study of evaporation in chemistry lessons using digital laboratories]. In: *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta. Seriya: Estestvennye nauki* [Bulletin of Moscow State Pedagogical University. Series: Natural Sciences], 2012, no. 1 (9), pp. 98–105.
7. Korotkova A. V., Pluzhnik O. M., Potemkina N. M. [Supramolecular chemistry as one of the promising areas of development of chemical science]. In: *Uspekhi sovremennoj nauki i obrazovaniya* [Advances in modern science and education], 2017, vol. 2, no. 6, pp. 109–117.
8. Mironova M. G. [History of formation and methodology of supramolecular chemistry]. In: *Istoricheskie retrospektivy i sovremennye tendencii v fizicheskoy himii, radiohimii i korrozionnyh issledovaniyah: kollektivnaya monografiya* [Historical retrospectives and modern trends in physical chemistry, radiochemistry and corrosion studies: collective monograph]. Moscow, Granica Publ., 2020, pp. 141–191.
9. Nikolaev A. F. [Modern view of the structure of water]. In: *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo instituta (tekhnicheskogo universiteta)* [Bulletin of the St. Petersburg State Technological Institute (Technical University)], 2007, no. 1 (27), pp. 110–115.
10. Razumov V. F. [Fundamental problems of the chemistry of supramolecular and nanosized structures]. In: *Izvestiya Akademii nauk. Seriya himicheskaya* [Bulletin of the Academy of Sciences. Chemical series], 2012, no. 7, pp. 1276–1284.
11. Sutyagin A. A., Menshikov V. V. [Studying the concepts of supramolecular chemistry in preparing future teachers]. In: Labutina M. V., Maskava T. S., Pankina V. V., ed. *Aktual'nye problemy estestvenno-tekhnologicheskogo obrazovaniya: sbornik nauchnyh trudov po materialam Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii. Saransk, 14–15 marta 2019 goda* [Actual problems of natural science and technology education: collection of scientific papers based on the materials of the International

- scientific and practical conference. Saransk, March 14–15, 2019]. Saransk, Publishing House of the Mordovian State Pedagogical Institute named after M. E. Evseviev, 2019, pp. 198–203.
12. Torosyan V. F. [On the content of the modern chemistry course]. In: *Himiya v shkole* [Chemistry at school], 2013, no. 8, pp. 47–49.
 13. Erlih G. V. [What kind of chemistry should be studied in modern schools?]. In: *Rossijskij himicheskij zhurnal (Zhurnal Rossijskogo himicheskogo obshchestva im. D. I. Mendeleeva)* [Russian Chemical Journal (Journal of the D. I. Mendeleev Russian Chemical Society)], 2011, vol. LV, no. 4, pp. 28–36.
 14. Fabbrizzi L. Beyond the molecule: intermolecular forces from gas liquefaction to X–H π hydrogen bonds. In: *ChemPlusChem*, 2022, vol. 87, no. 1. Available at: <https://chemistry-europe.onlinelibrary.wiley.com> (accessed: 10.10.24). DOI: 10.1002/cplu.202100243.
 15. Kuntzleman T., Matti A., Tomco D. Chemistry in a Bottle. In: *Journal of Chemical Education*, 2024, vol. 101, no. 8, pp. 3606–3610. DOI: 10.1021/acs.jchemed.4c00598.
 16. Ding L., Zhang J., Li J. Color catcher: a marvelous encounter of starch and iodine. In: *University Chemistry*, 2024, vol. 39, no. 6, pp. 334–341. DOI: 10.3866/PKU.DXHX202311064.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Сутягин Андрей Александрович – кандидат химических наук, доцент, заведующий кафедрой химии, экологии и методики обучения химии Южно-Уральского государственного гуманитарно-педагогического университета;

e-mail: sutyaginaa@cspu.ru

Меньшиков Владимир Владимирович – старший преподаватель кафедры химии, экологии и методики обучения химии Южно-Уральского государственного гуманитарно-педагогического университета, Заслуженный учитель Российской Федерации;

e-mail: menshikoff@mail.ru

Лисун Наталья Михайловна – кандидат педагогических наук, доцент, доцент кафедры химии, экологии и методики обучения химии Южно-Уральского государственного гуманитарно-педагогического университета;

e-mail: lisun@list.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Andrey A. Sutyagin – Cand. Sci. (Chemistry), Assoc. Prof., Head of the Department of Chemistry, Ecology and Methods of Teaching Chemistry at the South Ural State Humanitarian Pedagogical University;

e-mail: sutyaginaa@cspu.ru

Vladimir V. Menshikov – Senior Lecturer at the Department of Chemistry, Ecology and Methods of Teaching Chemistry of the South Ural State Humanitarian Pedagogical University, Honored Teacher of the Russian Federation;

e-mail: menshikoff@mail.ru

Natalya Mikhailovna Lisun – Cand. Sci. (Pedagogy), Assoc. Prof., Department of Chemistry, Ecology and Methods of Teaching Chemistry at the South Ural State Humanitarian Pedagogical University;

e-mail: lisun@list.ru

ПРАВИЛЬНАЯ ССЫЛКА НА СТАТЬЮ

Сутягин А. А., Меньшиков В. В., Лисун Н. М. Возможности включения вопросов супрамолекулярной химии в содержание лабораторных работ при подготовке учителя // Московский педагогический журнал. 2025. №1. С. 108–120.

DOI: 10.18384/2949-4974-2025-1-108-120

FOR CITATION

Sutyagin A. A., Menshikov V. V., Lisun N. M. Possibilities of supramolecular chemistry issues including into the content of laboratory work during teacher training. In: *Moscow Pedagogical Journal*. 2025, no. 1, pp. 108–120.

DOI: 10.18384/2949-4974-2025-1-108-120