

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 54(091)

К 95-ЛЕТИЮ ХИМИЧЕСКОГО ФАКУЛЬТЕТА МГУ

**Татьяна Витальевна Богатова, Сергей Сергеевич Карлов,
Николай Валерьевич Лобанов**

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, химический факультет, Москва, Россия

Автор, ответственный за переписку: Николай Валерьевич Лобанов,
lnw94@yandex.ru

Аннотация. Статья посвящена 95-летию химического факультета МГУ. Кратко представлена история преподавания химии в Московском университете, начиная со дня основания и вплоть до наших дней, ключевые вехи становления химического факультета; более пристальное внимание уделено событиям и научным разработкам последнего десятилетия. Приведены данные о сегодняшнем состоянии факультета.

Ключевые слова: история химии, преподавание химии, химический факультет МГУ, Московский университет, юбилей

DOI: 10.55959/MSU0579-9384-2-2025-66-1-3-24

Благодарности. Авторы благодарят Музей истории МГУ за предоставленные иллюстрации.

Финансирование. Работа выполнена в рамках гос. задания «Информационно-методическое обеспечение развития фундаментального химического образования и научных исследований по химии». Номер ЦИТИС: 121121600197-3.

Для цитирования: Богатова Т.В., Карлов С.С., Лобанов Н.В. К 95-летию химического факультета МГУ // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 2. Химия. 2025. Т. 66. № 1. С. 3–24.

ORIGINAL ARTICLE

**ON THE 95TH ANNIVERSARY OF THE FACULTY OF CHEMISTRY
OF MOSCOW STATE UNIVERSITY**

Tatyana V. Bogatova, Sergey S. Karlov, Nikolai V. Lobanov

Moscow State University named after M.V. Lomonosov, Faculty of Chemistry,
Moscow, Russia

Corresponding author: Nikolai V. Lobanov, lnw94@yandex.ru

Abstract. The article is devoted to the 95th anniversary of the Faculty of Chemistry of Moscow State University. The history of chemistry teaching at Moscow University is briefly presented, starting from the day of its foundation and up to the present day, the key milestones of the formation of the Faculty of Chemistry; closer attention is paid to the events and scientific developments of the last decade. The data on the current state of the faculty are presented.

Keywords: history of chemistry, teaching chemistry, Faculty of Chemistry of Moscow State University, Moscow University, anniversary

Acknowledgements. The authors thank the Museum of History of Moscow State University for the illustrations provided.

Financial Support. The work was carried out within the framework of the state task "Information and methodological support for the development of fundamental chemical education and scientific research in chemistry". CITIS number: 121121600197-3.

For citation: Bogatova T.V., Karlov S.S., Lobanov N.V. On the 95th anniversary of the Chemical Faculty of Moscow State University // Vestn. Mosk. un-ta. Ser. 2. Chemistry. 2025. T. 66. № 1. S. 3–24.

Химический факультет МГУ – один из старейших естественно-научных факультетов Московского университета. Здесь осуществляется подготовка специалистов по широкому спектру специализаций в области химических наук.

Исследователи неоднократно обращались к изучению разных аспектов и периодов истории химического факультета [1–4] и в целом развития химии в Московском университете [5–6], поэтому в настоящей работе мы более подробно остановимся на тех фактах и событиях, которые не отражены или недостаточно подробно освещены в предыдущих публикациях. Особое внимание авторы старались уделить новейшей истории химического факультета – его деятельности и достижениям в последнее десятилетие. Однако вначале совершим краткий экскурс в «дофакультетскую эпоху».

Преподавание химии и зарождение первых научных школ

Преподавание химии в Московском университете началось с 1758 г., кафедра химии в этот период существовала на медицинском факультете.

Ее первым заведующим был немецкий профессор И.Х. Керштене [4, с. 12]. В 1760 г. была организована химическая лаборатория. В 1804 г. в соответствии с новым университетским уставом кафедра химии вошла в состав физико-математического факультета. Заведующим кафедрой был назначен Ф.Ф. Рейсс, впоследствии очень много сделавший для нее.

В 1829 г. на смену Ф.Ф. Рейссу пришел профессор Р.Г. Гейман. Он инициировал при содействии графа С.Г. Строганова (попечителя Московского учебного округа) постройку отдельного здания для химической лаборатории, ее устройство и оборудование считалось в то время одним из лучших в Европе. Здесь проводились учебные занятия со студентами, выполнялись работы по заказу государственных учреждений и промышленников.

С 1858 г. кафедру химии и химическую лабораторию Московского университета возглавил Н.Э. Ляковский – ученик Ю. Либиха и Ж.-Б. Дюма. Магистрами химии в этот период стали А.К. Феррейн, А.Ф. Гедвилло, В.П. Мошнин, Н. Сырейчиков, Н.Е. Ляковский, А.А. Колли



Рис. 1. В.В. Марковников читает лекцию студентам в Большой химической аудитории «красного корпуса»

[5]. После смерти Н.Э. Ляковского в 1871 г. лаборатория фактически осталась без заведующего и была предоставлена на произвол судьбы.

Широкий размах исследований и достаточно высокий уровень преподавания химии был достигнут лишь после 1873 г. с приходом проф. В.В. Марковникова. По его инициативе научная работа стала существенным элементом учебной деятельности студентов. На этой почве сформировалась известная отечественная школа талантливых химиков-исследователей: М.И. Коновалов, А.Н. Реформатский, А.Н. Оглоблин, Н.М. Кижнер, А.М. Беркенгейм, И.А. Каблуков, М.Н. Попов и др. Кроме того, В.В. Марковников в своей лаборатории одним из первых допустил женщин к участию в химических исследованиях.

В 1893 г. заведующим кафедрой химии в звании экстраординарного профессора был назначен приват-доцент Новороссийского университета Н.Д. Зелинский. При нем начало расти число специализированных, в том числе приват-доцентских, курсов. В период с 1893 по 1917 гг. на химическом факультете активно велись исследования в области органической химии (С.С. Наметкин, Л.А. Чугаев, А.Е. Чичибабин, В.В. Челинцев и др.), физической химии (И.А. Каблуков, С.Г. Крапивин, А.Н. Щукарев, А.В. Сперанский, Е.И. Шпитальский, А.П. Сабанеев, И.С. Плотников и др.), аналитической химии (Н.А. Шилов, А.П. Сабанеев, А.Г. Дорошевский).

В 1921 г. на физико-математическом факультете было организовано химическое отделение, включающее основную кафедру химии и кафедры агрономической и технической химии.

В 1923 г. в университете появилась аспирантура. На химическом отделении первыми аспирантами-химиками были Я.И. Герасимов, А.В. Новоселова, А.А. Баландин, Ю.К. Юрьев, Р.Я. Левина, Н.И. Кобозев, сыгравшие впоследствии важную роль в истории химического факультета.

1 октября 1929 г. на базе химического отделения в Московском университете был учрежден самостоятельный химический факультет¹. Первоначально в его состав входили пять химических кафедр (органической, аналитической, физической, неорганической химии и кафедра биохимии), а также кафедры физики, математики и политических предметов. Химические кафедры включали 16 лабораторий. Первым деканом факультета был профессор Е.П. Троицкий.

К началу 1940-х годов на химфаке было девять кафедр. В предвоенные годы химический факультет МГУ являлся одним из важнейших центров химической науки в стране.

Химический факультет в 1940-е годы

В октябре 1941 г. химический факультет вместе с другими подразделениями МГУ был эвакуирован в Ашхабад. В 1942 г. большую часть работников факультета реэвакуировали из Ашхабада в Свердловск [4, 7–8].

Сотрудники факультета, оставшиеся в Москве, оказывали помощь фронту и тылу. 1 декабря 1941 г. в здании химического факультета была организована одна из первых в Москве лабораторий местной противовоздушной и противохимической обороны. Сотрудники лаборатории, привлекая к работе оставшихся в Москве студентов, выполняли аналитические и синтетические работы по заданию службы ПВО четырех районов Москвы. Была решена задача индикации жидких отравляющих веществ (иприта и люизита) на поверхности снега, земли, кирпича и штукатурки. Синтезированный в лаборатории препарат-индикатор под маркой ИП-2 был принят на вооружение Красной Армии и Морского Флота, а на химическом факультете было налажено получение этого препарата.

Изготавливались и другие необходимые для фронта специальные вещества. Университетские химики разработали промышленный способ производства одного из видов активного силикагеля, который широко использовался на производстве в целях поглощения водяных паров и в качестве носителя для катализаторов. Непосредственно в лаборатории университета было изготовлено около 300 кг этого препарата. Для получения пенообразователей, применяемых при пожаротушении, было найдено недорогое древесное сырье, а также создано производство пенообразователей из метилового спирта.

На кафедре общей химии по заданию Народного комиссариата обороны разрабатывалась рецептура приготовления взрывчатых и быстровоспламеняющихся веществ, составлялась документация по их использованию.

Сотрудники кафедры органической химии наладили производство ценных лекарственных препаратов, крайне необходимых для госпиталей (сульфидина, дифенилизопропилового спирта и др., а также сахараина).

¹ Приказ по МГУ о новом факультете был издан лишь в начале 1930 г.

В 1942 г. для нужд промышленности на кафедре неорганической химии были развернуты научные исследования в области химии урана: изучение методов извлечения урановых соединений из минералов, условий осаждения соединений урана из растворов, определение растворимости, летучести и термической устойчивости уранилов, сульфатов и хлоридов. Были синтезированы различные соединения урана для работ в области атомной энергии, возглавляемых И.В. Курчатовым. Под эту задачу в 1943 г. была создана лаборатория радиохимии.

Сотрудники химфака, работавшие в Ашхабаде и Свердловске, также направляли свои усилия на помощь фронту. Так, в Туркмении сотрудниками кафедры электрохимии был разработан способ производства свинцовых аккумуляторов из местного сырья; химики нашли способ получения бертолетовой соли из местных сильвинитов; изучались вопросы налаживания в республике содового производства. После возвращения летом 1943 г. из эвакуации в Москву преподавателей и сотрудников факультета и НИИ химии работы, направленные на помощь фронту и тылу, получили более широкий размах.

На кафедре коллоидной химии были разработаны действенные антикоррозионные препараты, в частности, препарат «уникол» (от слов «университет» и «коллоидная химия»). Первые партии препарата изготавливались в лабораториях и отправлялись на фронт; позднее был организован завод по производству этого препарата. Ингибитор «уникол» был принят на снабжение армии и

промышленности в 1943 г. Он получил широкое распространение на фронте [9].

Работы по повышению качества авиационных бензинов и смазочных масел, начатые до войны, позволили разработать новый процесс для получения горючего с высоким октановым числом, найти специальные катализаторы для процессов ароматизации нефти и получения продуктов оборонного значения. Был детально исследован процесс каталитического крекинга нефти с определением химической природы его продуктов спектральными методами [10].

В самом начале войны многие сотрудники, студенты, аспиранты университета были мобилизованы или добровольно ушли на фронт. Сотни ушедших не вернулись с войны. Однако память о них бережно хранится на факультете. В 1965 г. (в год 20-летия Победы) рядом со зданием химфака была установлена стела с именами погибших (рис. 2). В настоящее время на ней выбита 61 фамилия. Вот уже много лет здесь, у стелы, в начале мая проводится торжественный митинг, посвященный Дню Победы, активное участие в нем принимают студенты. В 1990-е годы в здании химического факультета в холле второго этажа были оформлены два памятных панно, одно из которых содержит имена и фотографии погибших, а второе – имена и фото тех участников войны, которые впоследствии учились и работали на химфаке.

В 1947 г. в состав факультета входило уже 12 кафедр, включавших 58 лабораторий и кабинетов, на факультете обучались 657 студентов и



Рис. 2. Стела с именами студентов и сотрудников химического факультета МГУ, погибших в Великой Отечественной войне

49 аспирантов. Ежегодный план приема студентов составлял 145 человек [4].

В новых корпусах, в новых лабораториях

Период 1950-х годов был ознаменован стремительным развитием химического факультета. В январе 1947 г. советское правительство приняло решение о строительстве в Москве восьми высотных зданий, одним из которых стал главный корпус МГУ на Ленинских горах. Уже в Постановлении СМ СССР № 803 от 15 марта 1948 г. «О строительстве новых зданий на Ленинских горах» уточнялось, что необходимо «построить в течение 1948–1952 гг. для Московского государственного университета новое здание на Ленинских горах объемом 1700 тыс. м³, высотой в центральной части не менее 20 этажей» [11]. Академику А.Н. Несмеянову, который в этот период был ректором МГУ, при доработке проекта новых зданий удалось реализовать идею постройки, помимо основного высотного здания, еще и отдельных корпусов для наиболее крупных естественных факультетов – физического, химического (рис. 3) и биологического. Торжественная закладка фундамента Главного здания МГУ на Ленинских горах состоялась 12 апреля 1949 г. Строительство началось в июле 1949 г. Площадь, застраиваемая в начале 1950-х годов на Ленинских горах, составляла около 187 га.

В начале 1950-х годов на химфаке была создана комиссия по подготовке к переезду, в кото-

рую вошли все члены деканата и заведующие кафедрами факультета. В Правительстве СССР было принято решение об оснащении МГУ только отечественным оборудованием, для чего была задействована вся приборостроительная промышленность страны, включая оборонную. Однако при получении приборов для особо важных работ выяснилось, что часть из них неисправна, причем поставившее их управление не принимало дефектное оборудование назад. Для предупреждения подобных инцидентов от кафедр выделили ответственных сотрудников, имевших допуск к работе с секретной информацией, была организована проверка приборов непосредственно на складах промбазы. Используя поверочные стенды и эталоны, не считаясь со временем, потратив весь летний отпуск, группа сотрудников и инженеров,веряющих приборы, обеспечила поступление на химфак исправных установок к 1 сентября 1953 г.

Масштабное расширение площадей в новых зданиях поставило вопрос о кадрах. Ректорат МГУ еще задолго до переезда в новое здание озабочился вопросами подбора квалифицированных сотрудников для университета на Ленинских горах. Ректор А.Н. Несмеянов получил полномочия отбирать кадры из числа студентов и аспирантов не только в МГУ, но и в других вузах, причем с предоставлением жилплощади и прописки в Москве; кроме того, в этих целях был серьезно увеличен набор в аспирантуру («Несмеяновский



Рис. 3. Здание химического факультета на Ленинских горах, 1960-е годы

набор»). Штаты для Нового здания начали выделяться задолго до окончания строительства, и еще до переезда и в процессе переезда на химфак были зачислены более ста человек на педагогическую, научную, инженерную и хозяйственную работу.

В 1953 г. были введены в эксплуатацию основные здания физического факультета объемом 274,6 тыс. м³, химического факультета объемом 267,7 тыс. м³ и ряд других основных и вспомогательных зданий, Ботанический сад общей площадью 42 га, спортивный манеж объемом 22,5 тыс. м³, трехзальный спортивный павильон объемом 19 тыс. м³ и открытые площадки для спортивных игр.

Переезд стал одним из самых значительных событий в жизни МГУ и всех его подразделений. По мнению тогдашнего ректора МГУ И.Г. Петровского, «по существу, состоялось второе рождение университета» [12].

«В 12 часов дня прозвучал первый звонок, возвестивший о начале учебного года на физическом, химическом, механико-математическом, геологическом и географическом факультетах. В этот день занятия проходили по особому расписанию, вводные лекции читались ведущими профессорами и академиками: Ан.Н. Несмеяновым, С.Л. Соболевым, О.Ю. Шмидтом, С.Н. Верновым, Х.С. Коштойацем, А.И. Опариным и другими» [13].

После переезда на Ленинские горы не только расширяются площади и кадровый состав факультета, но также появляются новые кафедры: химии и физики высоких давлений (1953, зав. каф. Л.Ф. Верещагин), высокомолекулярных соединений (1955, зав. каф. акад. В.А. Каргин), радиохимии (1959, зав. каф. чл.-корр. А.Н. Несмеянов), химии природных соединений (1965, зав. каф. чл.-корр. М.А. Прокофьев), химической энзимологии (1974, зав. каф. чл.-корр. АН СССР И.В. Березин), лазерной химии (1988, зав. каф. проф. Ю.Я. Кузяков).

Этот процесс продолжается и в XXI веке. Так, объединение двух кафедр в 2005 г. позволило создать кафедру химической технологии и новых материалов (зав. каф. проф. В.В. Авдеев). Для решения новых задач, встающих перед химиками-органиками в связи с созданием современных лекарственных препаратов, в 2014 г. была создана кафедра медицинской химии (зав. каф. акад. Н.С. Зефирова).

В 1994 г. в Черноголовском научном центре был открыт филиал химического факультета (ди-

ректор-организатор филиала академик РАН А.Е. Шилов), в 2006 г. преобразованный в отдельный факультет фундаментальной физико-химической инженерии. Высший колледж наук о материалах, начавший свою деятельность в 1991 г. в рамках химфака (как спецгруппа), в 2000 г. также стал самостоятельным факультетом – факультетом новых материалов.

К началу 2020-х годов на химическом факультете МГУ (за весь период его существования) прошли обучение более 21 тыс. студентов, свыше 7 тыс. аспирантов. С начала обучения зарубежных специалистов в 1948 г. факультет подготовил более 1500 человек из 65 стран мира, в том числе Англии, Болгарии, Вьетнама, Германии, Египта, Индии, Италии, Китая, Кореи, Кубы, Монголии, Польши, Румынии, США и многих других.

Новейшая история химического факультета

В настоящее время химический факультет Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова продолжает славные традиции, заложенные его выдающимися основателями. Для этого за последние 10 лет факультет сделал немало. Не пытаясь охватить в одной статье все разработки ученых химфака, приведем здесь лишь наиболее интересные, практически важные результаты исследований ученых-химиков, сделанные в последнее десятилетие.

Кафедра химической технологии и новых материалов. Здесь разработаны легкоплавкие фталонитрильные мономеры, которые позволили впервые в мировой практике получать термостойкие композиты эффективными инъекционными методами. Применение фталонитрилов в качестве матриц для композитов привело к разработке новых высокопрочных и термостойких полимерных композиционных материалов, нашедших применение в производстве деталей космической и авиационной техники, например в конструкции пилотируемого транспортного корабля «Орёл» (ПАО РКК Энергия) и российского среднемагистрального пассажирского самолета МС-21) [14–15]. Работы в этой области были дважды удостоены Премии Правительства Москвы для молодых ученых (А.В. Бабкин, 2018; Б.А. Булгаков, 2019). На кафедре был также разработан простой способ получения материала для очистки водоемов от нефтяных пятен на основе магнитного терморасширенного графита. Новая технология позволяет на порядки ускорить

процесс получения важного сорбента и сделать его намного безопаснее [16]. Следует отметить проекты по созданию технологии изготовления термостойких и химически стойких композиционных материалов трубопроводов (2015) и высокотемпературных композиционных уплотнительных материалов для повышения энергосбережения и герметизации оборудования и трубопроводов (2017).

На *кафедре неорганической химии* продолжают исследования полупроводниковых материалов, в частности, реализован направленный синтез сложных нанокристаллических оксидных полупроводников, разработаны оригинальные методики для спектрального изучения их реакционной способности при взаимодействии с газовой фазой, сформирован банк чувствительных материалов и алгоритмов обработки данных для создания газовых сенсоров и систем типа «электронный нос». Эти исследования найдут применение в экологическом мониторинге, для детектирования высокотоксичных веществ в воздухе, а также в неинвазивной медицинской диагностике [17–18]. Изучение термоэлектрических материалов для среднетемпературных применений, реализованное на основе халькогенидов и интерметаллидов, позволило разработать новые подходы к их созданию и получить такие материалы из недорогих элементов. При этом получившиеся субстанции нетоксичны, демонстрируют высокие значения термоэлектрической добротности и перспективны для использования в качестве преобразователей отработанного тепла в электроэнергию в автомобильной промышленности [19–20]. Традиционные для кафедры исследования редкоземельных элементов в последнее десятилетие стали актуальными благодаря созданию и эффективному применению материалов на их основе. Так, при изучении комплексов лантанидов и их эффективности в OLED были выявлены новые факторы, влияющие на электролюминесценцию этих материалов, и получены рекордные значения эффективности OLED на основе комплексов тербия и иттербия. Использование этих устройств позволило получить первые пульсметры на основе комплексов лантанидов, что важно для применений в носимой электронике [21–23]. Работы по этому направлению были удостоены Премии Правительства Москвы (2020).

В лаборатории экологической химии *кафедры общей химии* интересные результаты получены в цикле работ по теме «Разработка каталитических систем для энергоэффективных и экологически

безопасных процессов органического синтеза, утилизации CO₂ и переработки биосырья с получением ценных химических продуктов». Сегодня высока актуальность создания эффективных способов утилизации CO₂, в первую очередь, его каталитической переработки в ценные продукты химической технологии. Большой интерес представляет прямое гидрирование CO₂ на гетерогенных катализаторах для получения таких продуктов, как синтез-газ, углеводороды, спирты, эфиры и некоторые другие органические молекулы. В цикле работ сотрудников лаборатории впервые было проведено комплексное исследование закономерностей прямого гидрирования CO₂ и реакции дегидрирования пропана в присутствии CO₂ в газофазных и сверхкритических условиях на Fe- и Cu-содержащих гетерогенных катализаторах. Также были разработаны эффективные катализаторы на основе хрома и галлия для процесса окислительного дегидрирования пропана и этана в олефины с использованием CO₂ в качестве мягкого и безопасного окислителя, что также является еще одним перспективным способом его утилизации. Эти результаты планируется использовать при разработке промышленных технологических решений, направленных на создание экологически чистых процессов эффективной утилизации вредных выбросов и отходов производства. В лаборатории структурной химии разработан защищенный патентом способ получения дисперсии 2D-наномонокристаллов кремния в органическом растворителе для фотовольтаического применения [24].

Новые материалы и подходы для создания металл-ионных аккумуляторов являются предметом исследования на разных кафедрах. Так, с участием сотрудников *кафедры коллоидной химии* разработан и сконструирован прототип пятиэлементного проточного ванадиевого аккумулятора (площадь электродов 12 см², выходная мощность 18 Вт) с системой управления, позволяющей проводить зарядку, разрядку, индикацию параметров батареи, а также контроль состава катодного электролита в процессе эксплуатации батареи фотометрическим способом. Здесь также разработаны подходы для создания композиционных катодных материалов на основе углеродных наноструктур и твердых полимерных электролитов для вторичных источников тока [25–27].

На *кафедре электрохимии* поиск новых катодных материалов для натрий-ионных аккумуляторов привел к открытию нового типа соединений со структурой KAlP₂O₇, характеризующихся

высоким рабочим потенциалом, быстрой диффузией катионов щелочных металлов, крайне малыми объемными изменениями в ходе заряда-разряда и превосходной химической и термической стабильностью. Уникальные особенности катодных материалов со структурой NASICON были обнаружены учеными благодаря комбинации электрохимических исследований и синхротронной порошковой рентгеновской дифракции. В ходе работы было показано, что при частичном извлечении катионов Na из позиции Na1 (до этого считавшейся электрохимически не активной) в $\text{Na}_4\text{MnV}(\text{PO}_4)_3$ и родственных соединениях структура материала демонстрируется таким образом, что дальнейшее циклирование протекает без фазовых переходов первого рода, типичного для этого класса материалов. Кроме того, в случае замещения V на Sc в $\text{Na}_3\text{VSc}(\text{PO}_4)_3$ возможна реализация полного обратимого трехэлектронного перехода $\text{V}^{2+}/\text{V}^{3+}/\text{V}^{4+}/\text{V}^{5+}$ в рамках одного структурного типа, с суммарной емкостью 180 мАч/г. Кроме того, были разработаны перспективные анодные материалы для натрий-ионных аккумуляторов на основе неграфитизируемого («твердого») углерода: так, улучшенные электрохимические свойства (емкость более 300 мАч/г, кулоновская эффективность первого цикла 89%) показал материал, полученный из глюкозы. Учеными была предложена оригинальная обобщенная модель электрохимического окисления и восстановления неграфитизируемого углерода как анода натрий-ионного аккумулятора [28–29].

В лаборатории химии высоких энергий кафедры электрохимии проведен цикл оригинальных экспериментально-теоретических исследований, позволивших предложить и обосновать возможные механизмы синтеза кислород- и азотсодержащих органических молекул, а также ароматических структур при действии ионизирующих излучений в условиях криогенных температур (5–10 K). Для лабораторного моделирования использован подход, связанный с изучением действия излучения на изолированные межмолекулярные комплексы (ассоциаты), которые можно рассматривать в качестве элементарных «строительных блоков» при холодном астрохимическом синтезе. Интермедиаты и продукты протекающих реакций экспериментально охарактеризованы с помощью методов колебательной спектроскопии и электронного парамагнитного резонанса, для теоретического описания использованы квантово-химические расчеты высокого уровня.

Полученные результаты вносят важный вклад в понимание возможных механизмов предбиологической эволюции молекулярного вещества и образования различных форм углерода в космическом пространстве.

Лабораторные исследования астрохимической направленности, базирующиеся на использовании лазерного излучения и атомно-молекулярной спектроскопии, систематически проводятся на *кафедре лазерной химии*. Тематики работ, выполненных за последние 10 лет, были связаны с (1) кинетическим моделированием физико-химической эволюции межзвездного вещества в космологическом масштабе времени [30]; (2) созданием спектроскопических баз данных для прогнозирования оптических свойств планетарных и звездных атмосфер на экспериментальном уровне точности [31]; (3) экспериментально-теоретическим моделированием свечения метеоров на разной высоте методом лазерно-искровой эмиссионной спектрометрии (ЛИЭС) при пониженном атмосферном давлении [32]; (4) экспериментальным воспроизведением процессов фотоиндуцированной десорбции молекул с поверхности космической пыли методом многофотонной лазерной спектроскопии и масс-спектрометрии [33].

Другие работы сотрудников кафедры посвящены вполне земным проблемам, связанным с развитием и применением метода ЛИЭС. В рамках этого метода разработан алгоритм моделирования эмиссионных спектров лазерной плазмы в условиях локального термодинамического равновесия, его использование позволило решать весьма широкий круг аналитических задач. Так, удалось подобрать линии и оптимизировать условия для определения углерода в сталях [34], РЗЭ и драгоценных металлов в почвах и рудах [35–36], анализа элементного состава биологических тканей [37], бетонов и природных вод [37–38], предложить способ оценки чувствительности метода ЛИЭС при определении микрокомпонентов для определенного типа проб на основании моделирования [39].

Исследования, проводимые на *кафедре химии природных соединений*, тесно переплетаются с тематикой НИИ физико-химической биологии им. А.Н. Белозерского, биологического факультета, факультета биоинформатики и биоинженерии. Так, в лаборатории химии белка одним из важных направлений является поиск, идентификация, структурно-функциональная характеристика пептидаз, способных гидролизовать белковые

и пептидные субстраты, обладающие сложной пространственной структурой и содержащие «трудные» для гидролиза последовательности. Практически важными и биологически значимыми белками этого типа являются проламины, в частности глютенны – белки пшеницы, недорасщепление которых в силу отсутствия у человека ферментов соответствующей специфичности служит причиной возникновения тяжелого аутоиммунного заболевания – целиакии. Принципиально важным результатом работы стало обнаружение глютеназ, т.е. пептидаз, гидролизующих глютенны, в составе эволюционно сложившегося ферментного комплекса насекомых – вредителей зерна. Проводимый поиск глютеназ является перспективным направлением разработки эффективных ферментных препаратов, пригодных как для энзимотерапии целиакии, так и для получения «безглютеновых продуктов» [40]. Еще одним важным направлением является изучение влияния ряда противоопухолевых препаратов, обладающих способностью связываться с ДНК или встраиваться в двойную спираль, на функционирование ДНК-метилтрансферазы Dnmt3a. Полученные данные позволяют ускорить развитие противоопухолевой терапии, расширить понимание природы цитотоксичности используемых препаратов [41–42].

Проведенный анализ мутаций в Dnmt3a, наблюдаемых у пациентов с острым миелоидным лейкозом, и выявленное нарушение функционирования мутантных форм фермента важны для ранней диагностики гематологических заболеваний и персонализированной терапии рака [43]. Разработаны молекулярные узнающие элементы для медицинских социально значимых мишеней: тромбина, гемагглютинаина вируса гриппа, маркеров опухолевых и стволовых [44] опухолевых клеток. Совместно с НМИЦ нейрохирургии им. Н.Н. Бурденко разработаны ингибиторы деления клеток злокачественной опухоли мозга (глиом), которые позволяют изменить их патологическую программу.

Кафедра медицинской химии и тонкого органического синтеза (самая молодая кафедра химического факультета) была основана в 2014 г. В рамках стоящих перед ней исследовательских задач по синтезу и конструированию физиологически активных веществ и лекарственных препаратов за 10 лет сделано немало. На основе глубоких нейронных сетей разработаны точные и надежные методы прогнозирования таких важных характеристик

фармакокинетических свойств и токсичности потенциальных лекарственных веществ, как проникновение через гематоэнцефалический барьер, всасывание в кишечнике, кардиотоксичность. Совместно с Волгоградским государственным медицинским университетом разработаны 3-арилденпроизводные 2-оксиндола – кандидаты в лекарственные средства для применения в качестве антидиабетических препаратов [45]. Совместно с Ростовским государственным медицинским университетом проведены доклинические исследования лекарственного средства для лечения нейродегенеративных нарушений Cyclomemorin [46], а также ряда инновационных агентов, обладающих противоопухолевым и антиметастатическим эффектом, в ряду новых оловоорганических соединений, содержащих фенольный антиоксидантный фрагмент, на моделях меланомы B16 и эпидермоидной карциномы Lewis [47–48].

Повышенное внимание к синтезу и исследованию противоопухолевых средств уделяется и на **кафедре химической кинетики**. Здесь предложены новые стратегии синтеза полифункционализированных алкилазидов и их дальнейшей трансформации в разнообразные *N*-гетероциклические соединения. Эти стратегии положены в основу нового способа получения спиропирролидин[3,3']оксиндолов (перспективных кандидатов для создания противораковых препаратов) из донорно-акцепторных циклопропанов, содержащих оксиндольный фрагмент в качестве активирующей электроноакцепторной группы. Кроме того, разработан стереодивергентный подход к оптически активным производным 7-азаиндолов, представляющим интерес для исследований в клеточной биологии и онкологии в качестве ингибиторов киназ, в виде полного набора стереоизомеров в индивидуальной форме. Интересны и работы кафедры в области создания новых каталитических композиций для ряда экологически важных и ресурсосберегающих процессов. Среди таких композиций Pd-содержащие системы со сверхнизким содержанием металла (для нейтрализации отходящих газов автотранспорта); высокоэффективные катализаторы, предполагающие совместное действие благородных металлов и оксидов переходных металлов (для процессов переработки углеводов и биомассы, включающих превращения биоэтанола и глицерина, гудрона и лигнина в полезные продукты); металл-модифицированные цеолиты для селективного окисления СО в присутствии водорода (для топливных элементов в рабочем температурном диапазоне от

50 до 130 °С). Были найдены новые каталитические композиции для радикальных процессов с участием полигалогеналканов, окисления серосодержащих соединений на основе иммобилизованных (на поверхности минеральных носителей) комплексов металлов с ионными жидкостями. Полученные результаты использованы в процессах обессеривания углеводородного сырья, на нефтеперерабатывающем заводе в г. Туапсе проведены все этапы промышленных испытаний (2019) и осуществлено внедрение катализатора очистки мазута от меркаптанов и сероводорода.

Исследованиями в области каталитических систем, методов их создания и изучения активно занимаются и на самой большой (около 300 сотрудников) кафедре химического факультета – *кафедре физической химии*. Здесь разработан новый метод исследования механизмов синтеза катализаторов, основанный на применении спектроскопии ЯМР ВМУ *in situ*, созданы соответствующий аппаратный комплекс и методология проведения исследований ЯМР ВМУ *in situ* [49–50]. На основе этих исследований сотрудниками лаборатории адсорбции и катализа создана новая парофазная технология получения наноразмерных цеолитных катализаторов. По сравнению с традиционной (гидротермальной) она обладает существенными преимуществами: увеличение производительности в 3–4 раза, уменьшение расходов воды и дорогостоящих теплообменников в 3–4 раза, сокращение энергозатрат, исключение образования жидких отходов кристаллизации. Технология находится на стадии внедрения в промышленность [51–53].

Сотрудниками лаборатории катализа и газовой электрохимии разработаны и запатентованы ряд технологий, направленных на получение функциональных материалов для приложений в оптике, гетерогенном катализе и энергетике [54–55]. С участием сотрудников этой лаборатории введен в эксплуатацию завод по производству аморфного SiO₂ в пгт Ильский Краснодарского края. Разработаны научные и технологические основы производства модифицированных акрилатных гидрогелей и использования их в качестве почвенного мелиоранта; введен в эксплуатацию завод по их производству. Разработана технология консолидации углеродных наноструктур для приложений в катализе, фильтрации, химических источниках тока.

В лаборатории газовой электронографии главным направлением научной работы является изучение строения практически значимых со-

единений в газовой фазе и установление закономерностей их строения на основе совместного анализа данных газовой электронографии, квантовой химии, колебательной и волновой спектроскопии. Здесь было установлено строение более 50 молекул в свободной форме, а также впервые выполнен конформационный анализ динитрофуразана в газовой фазе, что важно для расчета параметров внутренней баллистики при сгорании твердотопливных зарядов, где он используется в качестве пластификатора [56]. Сотрудниками лаборатории совместно с коллегами из Российского технологического университета и Объединенного института высоких температур РАН был изобретен и запатентован новый способ для исследования вещества, разделенного газовым хроматографом, методами газовой электронографии, ядерного магнитного и электронного парамагнитного резонанса [57].

В 2022 г. лаборатория химической термодинамики выступила инициатором создания общероссийского программного комплекса по расчетам фазовых и химических равновесий. Эта инициатива стала возможной благодаря оригинальным расчетно-теоретическим разработкам сотрудников лаборатории (Воронин Г.Ф., Восков А.Д., Куценко И.Б., Коваленко Н.А.), выполненным в последние десятилетия (метод «выпуклых оболочек», модель GMLC, описание теплоемкости с помощью комбинации функций Планка – Эйнштейна и др.) [58–59]. Наиболее значимой практико-ориентированной работой коллектива лаборатории является разработка новой технологии синтеза карбамида [60]. Успешная реализация этого проекта закончилась подписанием в 2013 г. соглашения о совместной разработке этой технологии между компанией «УРАЛХИМ» (ведущим российским производителем азотных удобрений) и компанией Stamicarbon (мировым лидером в области разработки и лицензирования технологий производства карбамида).

Работы сотрудников лаборатории молекулярной механики и квантового моделирования свидетельствуют о том, что в последние годы произошел качественный скачок в описании биохимических реакций за счет перехода от расчетов комбинированным методом квантовой механики/молекулярной механики (КМ/ММ) на поверхности потенциальной энергии к расчетам методом молекулярной динамики с КМ/ММ потенциалами. Это позволило предложить ингибиторы основной протеазы вируса SARS-CoV2, объяснить механизм переключения оптогенети-

ческой системы bPAC и определить механизмы ряда других ферментативных реакций [61–62].

Кафедра органической химии и прежде уделяла значительное внимание разработке и синтезу лекарственных препаратов. Во второй половине XX в. здесь были разработаны такие лечебные средства, как димебон и димекарбин. Эта традиция продолжается и сегодня. В рассматриваемый период из фундаментальных исследований кафедры следует отметить разработанный сотрудниками кафедры высокоэффективный метод проведения реакций с участием реакционноспособных интермедиатов методом диффузионного смешивания. Суть этого метода состоит в том, что диффузия паров третичных аминов в реакционную смесь, содержащую диполярнофил и гидразонилхлорид или гидроксимидоилгалогенид, позволяет проводить реакции 1,3-диполярного циклоприсоединения с малостабильными и легко димеризующимися нитрилоксидами и нитрилинами с количественными выходами, кроме того, он чрезвычайно прост в экспериментальном оформлении. Фактически 1,3-диполи получают этим методом «молекула за молекулой», что предотвращает их нежелательную димеризацию [63–64]. Активно проводятся исследования металл-катализируемых реакций присоединения по кратным связям и каталитических реакций замещения, обеспечивающих протекание реакций с очень высокими выходами и селективностью, а также фотокаталитических и фотоиницируемых реакций как металл-катализируемых, так и некаталитических [65]. Открыты дивергентные реакции присоединения к активированным алкинам. Проведено обширное исследование образования связей C–C, C–S и C–N с использованием катализаторов, иммобилизованных на различные подложки [65–67]. Разработаны методы получения высокочувствительных флуоресцентных детекторов катионов металлов и оптически активных органических соединений [68]. Синтезирован новый тип крайне редких нейтральных устойчивых смешанновалентных амбиполярных радикалов – интересных объектов для спинтроники [69]. Кроме того, на основе лигандов простатического специфического мембранного антигена был разработан высокоэффективный конъюгат доцетаксела для направленной терапии опухолей предстательной железы, способный выступать в качестве альтернативной формы существующего препарата «Доцетаксел» [70].

Новые лекарственные формы и средства доставки лекарств являются предметом исследо-

вания и на **кафедре высокомолекулярных соединений**. Здесь большое внимание уделяется изучению фотосенсибилизаторов – веществ, способных в результате возбуждения внешним источником света генерировать высокотоксичный синглетный кислород. Это свойство порфиринов используется для подавления роста злокачественных опухолей. Существенным ограничением этого метода является низкая прозрачность биологических тканей для видимого света, поэтому он применим для лечения лишь поверхностных опухолей. Для преодоления этого ограничения было предложено использовать реакцию между ароматическими оксалами и пероксидом водорода (пероксиоксалазная реакция, ПО-реакция), которая сопровождается расщеплением оксалатов с выделением энергии. В качестве активатора этой реакции ученые кафедры предлагают использовать фотосенсибилизатор порфиринового ряда, в результате чего в раковых клетках будет активно протекать ПО-реакция и генерироваться высокотоксичный синглетный кислород [71]. В качестве средств доставки лекарств для борьбы с онкологическими и инфекционными заболеваниями на кафедре разработаны стимул-чувствительные липосомы, способные к высвобождению инкапсулированных веществ в ответ на изменение внешних условий. Они высвобождают до 95% инкапсулированного лекарства в течение одной минуты после изменения pH внешнего раствора с нейтрального до слабокислого (пониженное значение pH наблюдается в области опухоли или места воспаления) [72–74]. Еще одним примером разработанных на кафедре ВМС средств доставки лекарств могут служить водорастворимые магнитоуправляемые полимерные носители размером 150–200 нм – конъюгаты природных полисахаридов и наночастиц (гидр)оксида железа, они могут инкапсулировать значительные количества лекарственных веществ. Водные растворы конъюгатов могут быть лиофильно высушены, что позволяет значительно увеличить их срок хранения [75]. Интересны и разработки тонких полимерных покрытий с антимикробными свойствами, основой которых являются полиэлектролиты линейного строения и поликомплексы. Бактерицидные свойства покрытия определяются суммарным зарядом наносимого полимера, наибольший бактерицидный эффект наблюдается при формировании покрытий из катионных ПЭ и поликомплексов с суммарным положительным зарядом [76].

На **кафедре химии нефти и органического катализа** проводятся исследования, направ-

ленные на усовершенствование существующих технологий нефтепереработки и нефтехимии, разработку методов и подходов к переработке тяжелого углеводородного и углеродсодержащего возобновляемого сырья и катализаторов таких процессов, а также каталитических композиций для повышения эффективности нефтехимических производств. Отдельное направление посвящено развитию исследований по химии гетероатомных компонентов нефти – серо- и азотсодержащих соединений: очистка нефтяных фракций от серосодержащих соединений путем окислительного обессеривания, синтез новых лигандов для получения эффективных и селективных катализаторов окислительных реакций, создание новых типов хемосенсоров, новые реакции, дающие выходы к новым классам серо- и азотсодержащих соединений с широким кругом полезных свойств. Так, в последние годы были разработаны способы получения цеолитов разных составов и структурных типов [77–79]. Предложены родийсодержащие катализаторы: а) нефосфорные, на основе гибридных органо-неорганических материалов (мезопористый оксид кремния, модифицированный третичными аминами), для tandemного жидкофазного процесса гидроформилирования-гидрирования олефинов в спирты [80]; б) нефосфорные, на основе комплексов родия и триэаноламина для «one-pot» гидроформилирования-гидрирования и гидроаминаметилирования олефинов в спирты и амины в двухфазных системах [81]; гетерогенные, иммобилизованные на поверхности гибридных органо-неорганических носителей, для гидроформилирования непредельных соединений [82]. Создание и совершенствование безводородных методов обогащения тяжелых нефтей и нефтяных фракций, в частности метода окислительного обессеривания, способствовало созданию эффективных жидкофазных и гетерогенных каталитических систем для окисления серосодержащих соединений нефтяного происхождения, позволяющих получать топлива класса 5. В рамках этих работ были предложены катализаторы на основе соединений переходных металлов, нанесенных на упорядоченный мезопористый силикат типа SBA-15, для безводородного обогащения тяжелого нефтяного сырья методом окислительного обессеривания пероксидом водорода в мягких условиях [83], а также на основе полиоксометаллатов типа Андерсона, для аэробного окисления серосодержащих соединений [84]. Был разработан безводородный способ

снижения содержания сернистых соединений в прямогонной бензиновой фракции до ультранизких значений (7 ppm), основанный на окислительном обессеривании сырья пероксидом водорода в мягких условиях с применением пористых ароматических каркасов, модифицированных сульфогруппами [85]. Созданы каталитические композиции на основе благородных металлов (Ru, Pt, Pd) и супрамолекулярных функциональных систем, представляющих собой пористые ароматические каркасы, модифицированные сульфо- и аминогруппами, для получения «платформенных молекул» гидрооблагораживания модельного сырья, имитирующего химические структурные элементы компонентов бионефти лигноцеллюлозного происхождения [86].

За последнее десятилетие на *кафедре радиохимии* созданы три новых лаборатории: радиофармацевтической химии (разработка методов выделения и очистки радионуклидов медицинского назначения, а также генераторных систем для получения короткоживущих радионуклидов для ядерной медицины), химической физики f-элементов (применение спектроскопии рентгеновского поглощения для исследования соединений лантаноидов и актинидов) и интеллектуального химического дизайна. Последняя проводит широкий спектр исследований с использованием современных вычислительных методов, методов квантовой химии и искусственного интеллекта для решения задач радиохимии. Работы по получению материалов медицинского назначения продолжались и в других лабораториях: так, были отработаны методики синтеза, минерализации и модифицирования радионуклидами радиоэмболизаторов – органо-минеральных композиционных материалов на основе гидроксипатита и ряда важных биополимеров, таких как казеиновые белки, альбумин, бактериальная целлюлоза и гиалуроновая кислота. Важным направлением, как и на некоторых других кафедрах, является развитие спектроскопических методов. В последние годы мессбауэровская спектроскопия на ядрах зондовых атомов ^{119}Sn и ^{121}Sb была применена для выяснения механизмов взаимодействия молекул, присутствующих в окружающей среде, с атомами, образующими поверхность кристаллитов анатазной модификации TiO_2 – широкозонного полупроводникового оксида, являющегося основным компонентом фотокаталитических материалов для химического преобразования энергии солнечного света. Традиционно на кафедре ведутся работы

по исследованию сорбционных процессов для поиска эффективных сорбентов в целях извлечения долгоживущих радионуклидов (актинидов и продуктов деления) из растворов разного состава и описания процессов, протекающих как в технологических циклах, так и окружающей среде. Весьма актуальными на сегодня являются фундаментальные и прикладные исследования в области конечных стадий ядерно-топливного цикла, которые включают переработку отработавшего ядерного топлива (ОЯТ), т.е. его растворение и разделение компонентов ОЯТ (фракционирование), и иммобилизацию, т.е. перевод в устойчивую матрицу. За последние годы был исследован ряд новых экстракционных систем для разделения f-элементов в ядерно-топливном цикле, в том числе разработана экстракционная система для селективного выделения америция из высокоактивных отходов, исследован не описанный ранее механизм экстракции урана.

Сорбционные и экстракционные процессы активно исследуются на *кафедре аналитической химии*. Так, тонкослойные фильтры-сорбенты и микроколоники для проточных систем анализа, предложенные учеными кафедры, нашли широкое практическое применение для контроля окружающей среды и качества пищевых продуктов; разработаны высокочувствительные методы определения металлов и органических соединений на основе динамического варианта сорбционного концентрирования и получения динамически устойчивых сорбентов с нековалентно иммобилизованными реагентами [87–88]. Созданы новые анионообменники для ионной хроматографии, сорбенты для хроматографии гидрофильных взаимодействий и способы анализа на их основе [89–90].

В целом исследования кафедры включают разработку методов анализа для решения задач экологии, медицинской диагностики, а также реальных секторов экономики (пищевое сырье, БАДы, исходные вещества, продукты производства), объектов культурного наследия и т.д. Здесь также особое внимание уделяется созданию комплексных спектроскопических методов (на основе ИК-спектроскопии, флуоресцентной спектроскопии, хемилюминесценции, фототермической и оптоакустической спектроскопии, термогравиметрии и пр.) для одновременного аналитического определения, установления физико-химических характеристик и биологической активности нанообъектов сложного состава (наоалмазов, почвенных частиц, инженерных на-

ночастиц разных классов, оксида графена, фуллеренов и пр.). Одним из актуальных направлений является разработка методов многокомпонентного нетаргетного анализа объектов окружающей среды, технологических, промышленных и биоматериалов [91–92]. В области создания электрохимических биосенсоров кафедра аналитической химии – один из лидеров в мире как в области фундаментальных достижений, так и в разработке медицинских приборов. Так, в настоящее время при участии группы компаний «Юнимед» проводится сертификация первого клинического анализатора глюкозы и лактата. Совместно с компанией «Элта» создаются глюкозные тесты нового поколения с высокой селективностью и прецизионностью. Разработаны методы мониторинга неинвазивно собираемых биологических жидкостей человека с использованием проточных биосенсоров, готовые к внедрению на производстве [93–94]. По-прежнему важным направлением остается аналитическая токсикология, где развивается методология определения и идентификации экзогенных сильнодействующих соединений и их метаболитов в живых организмах. Это направление связано с химическим разоружением, ликвидацией химического оружия и выполнением конвенции о запрещении химического оружия. Разработаны способы быстрого и селективного обнаружения этих продуктов, которые долго сохраняются в объектах окружающей среды, а также методы метаболомного анализа в сочетании с методами машинного обучения и анализа большого объема данных для метаболических маркеров в целях ранней диагностики онкопатологий [95–96].

Внимание к объектам окружающей среды и разработке лекарственных средств проявляется и в исследованиях *кафедры химической энзимологии*. Здесь были созданы биокаталитические системы для деградации фосфорорганических нейротоксичных соединений (пестицидов и отравляющих веществ) в водных средах и в почве, а также внутри живых организмов при использовании ферментных стабилизированных нанобиокатализаторов в качестве высокоэффективных и быстродействующих антидотов [97]. Разработка ферментных антидотов против природных микотоксинов легла в основу создания новых полиферментных препаратов, гарантирующих деструкцию и детоксификацию этих токсичных соединений грибного происхождения при наличии их в кормах или отходах животноводства. В последние годы на кафедре проводятся

работы по изучению механизмов развития резистентности бактерий к антибиотикам, в частности, разрабатываются фундаментальные принципы роли ферментов в развитии резистентности и новых подходов к ее преодолению; проводится репозиционирование известных лекарственных препаратов в качестве ингибиторов β -лактамаз и определение их микробиологической активности [98]. Еще один подход к вопросу о воздействии антибиотиков состоит в том, что учеными был разработан метод и создан набор реагентов, предназначенных для быстрой количественной оценки чувствительности к антибиотикам микробных патогенов в клиническом образце. Это было реализовано с использованием биолюминесцентного метода, основанного на измерении жизнеспособности микробных патогенов по уровню АТФ. Медикам также пригодится разработанный набор реагентов и других материалов, предназначенных для быстрой оценки стерильности (или микробной обсемененности) медицинских инструментов, помещений и материалов с использованием биолюминесцентного метода, основанного на измерении уровня микробных загрязнений по концентрации АТФ. Эти разработки прошли предклинические и клинические испытания и дали положительные результаты [99]. Интересны и важны для медиков исследования антиоксидантного фермента супероксиддисмутазы в качестве противовоспалительного препарата. Совместно с сотрудниками Института глазных болезней им. Гельмгольца продемонстрировано улучшение ряда клинических и биохимических показателей течения иммуногенного увеита (воспалительное заболевание глаз) при местном капельном введении препарата [100]. Усилия ученых сосредоточены также на создании диагностических агентов и систем доставки лекарственных молекул с использованием магнитных наночастиц и на создании принципиально новых подходов и методов дистанционного управления биохимическими системами с помощью низкочастотного переменного магнитного поля, взаимодействующего с введенными в объект специфичными магнитными наночастицами [101]. Одним из важных достижений сотрудников кафедры можно также считать организацию ООО «Агрофермент» – современного предприятия по производству ферментных препаратов [102].

Разумеется, перечисленные достижения ученых химического факультета – лишь малая часть сделанного за последние 10 лет (более

подробные материалы об этом можно найти в статьях и монографиях сотрудников). Многие из этих исследований стали предметом диссертационных работ – с 2014 г. на факультете было защищено 459 кандидатских и 53 докторских диссертаций (см. таблицу).

По результатам анализа системы ИСТИНА за 2023 г. химический факультет МГУ занимает первое место в Московском университете по числу высокорейтинговых научных публикаций. За 2023 г. сотрудники химического факультета опубликовали 2998 статей в научных журналах, из них 614 – в журналах Топ-25 рейтинга. Это 17,4% от общего числа высокорейтинговых публикаций, опубликованных в 2023 г. сотрудниками МГУ [103].

В настоящее время на факультете работают более 250 докторов наук, около 700 кандидатов наук.

Успешная преподавательская и исследовательская работа всего коллектива химического факультета была по достоинству оценена государством – большой группе сотрудников были вручены государственные награды. Так, Б.Ф. Мясоедов награжден Орденом «За заслуги перед Отечеством» III степени. Медали ордена «За заслуги перед Отечеством» I степени был удостоен В.В. Еремин; А.А. Богданову, Н.Б. Зорову, Б.И. Лазорюку, Е.В. Антипову, С.Д. Варфоломееву, С.А. Пономаренко были вручены медали ордена «За заслуги перед Отечеством» II степени. Ряд сотрудников был награжден Орденом Александра Невского (Ю.А. Золотов, А.А. Богданов, Р.З. Сагдеев), Орденом Почета (В.В. Авдеев), Орденом Дружбы (С.Н. Калмыков, В.М. Бузник, С.Н. Кочетков), Почетной грамотой Президента РФ (И.П. Белецкая, Н.Н. Угарова, А.Н. Кузнецов, И.В. Мелихов); С.П. Громов стал лауреатом Государственной премии РФ. 13 сотрудников были удостоены Почетной грамоты Министерства образования и науки, четверо стали лауреатами премии Правительства РФ в области науки и техники. Большая группа ученых (более 20) была удостоена медалей и премий, присуждаемых Российской Академией наук; звание профессоров РАН получили 12 ученых, членами-корреспондентами за последние 10 лет были избраны семеро сотрудников факультета, трое стали академиками. Высоко оценены и работы молодых сотрудников – Премия Правительства Москвы молодым ученым получили 45 человек, медалями РАН с премиями для молодых ученых

Защиты диссертаций сотрудниками и аспирантами химического факультета в 2014–2024 гг. (сведения от кафедр на январь 2024 г.)

Кафедра	Число кандидатских диссертаций	Число докторских диссертаций
Аналитической химии	78	7
Неорганической химии	64	4
Органической химии	37	3
Физической химии	52	6
Коллоидной химии	2	1
Химии нефти и органического катализа	16	3
Химической кинетики	10	5
Высокомолекулярных соединений	28	3
Лазерной химии	6	–
Общей химии	15	1
Радиохимии	20	2
Медицинской химии	24	2
Химии природных соединений	30	9
Химической технологии и новых материалов	18	4
Электрохимии	12	–
Химической энзимологии	47	5

награждены 12 сотрудников. Ряд сотрудников был удостоен университетских наград: 10 человек стали заслуженными профессорами МГУ, 39 – удостоены звания заслуженного преподавателя, заслуженного работника и заслуженного научного сотрудника МГУ, семеро человек награждены Ломоносовской премией, шестеро сотрудников – Шуваловской.

Учебная работа на химическом факультете

Преподавание является основным видом деятельности профессорско-преподавательского корпуса химического факультета и одним из главных занятий научных сотрудников. Не вдаваясь в подробности, отметим лишь важнейшие результаты в этом направлении.

В 2011 г. на химическом факультете в рамках перехода МГУ на систему 6-летнего образования был введен новый учебный план подготовки по специальности «Фундаментальная и прикладная химия» (нормативный срок обучения 6 лет). Переход к 6-летнему специалитету (а не к системе бакалавриат-магистратура) позволил сохранить все удачные наработки 5-летнего обучения спе-

циалистов в области химии. Отсутствие ступени окончания бакалавриата и поступления в магистратуру крайне важно именно в области химических наук с учетом того, что существенную часть аудиторной нагрузки занимает выполнение практических занятий по химии (по 9 различным химическим дисциплинам), а также по физике, сокращение которых привело бы к потере качества подготовки. Кроме того, увеличение нормативного срока подготовки позволило расширить круг изучаемых вопросов, в том числе и за счет введения курсов по современным проблемам химии. Учебным планом предусмотрена 21 специализация, что позволяет охватить все разделы современной химии и смежных наук. Важным результатом также стало увеличение времени, отведенного студенту на выполнение научно-исследовательской работы, что позволило сохранить высокий научный уровень дипломных работ студентов, которым традиционно отличался химический факультет.

Однако современная наука не стоит на месте, накопление знаний происходит заметно быстрее, чем в предыдущие годы. Резко увеличилось чис-

ло исследований, проводящихся на стыках наук: химии, с одной стороны, и физики, математики, биологии, медицины – с другой. Все это потребовало модификации учебного плана, которая позволила сформировать следующую схему обучения в рамках 6-летнего специалитета: первые два года – обучение в рамках одного потока; 3-й и 4-й курс – разделение на два потока, условно называемых а) химией материалов и методов и б) химией живого и органической химией. Наконец, 5-й и 6-й курсы – обучения в рамках специализаций. Разделение на два потока не означает радикальных отличий в планах этих потоков, но позволяет, варьируя объемы дисциплин, а также в ряде случаев сами дисциплины, наиболее эффективно обучать студентов в рамках выбранной траектории. Новый учебный план был введен в действие для поступивших на первый курс в 2023 г.

Помимо собственных студентов сотрудники химического факультета обучают студентов еще 11 факультетов, в том числе биологического, геологического, географического, почвенного, факультетов наук о материалах, фундаментальной медицины и т.д. Часть преподавателей регулярно выезжает в филиалы университета, находящиеся в Баку и Душанбе, принимая активное участие в учебном процессе.

Преподавателями активно пополняется тот набор учебников, которыми пользуются сегодня студенты. В последнее десятилетие вышли в свет следующие учебники и учебные пособия²: Физическая химия биопроцессов, 2014; Бекман И.Н. Радиохимия: учебное пособие. Т. 1–2, 2014; Романовский Б.В. Основы катализа, 2015; Юровская М.А. Химия ароматических гетероциклических соединений, 2015; Золотов Ю.А. Введение в аналитическую химию, 2015; Хейфец Л.И., Зеленко В.Л. Химическая технология. Теоретические основы, 2015; Устынюк Ю.А. Лекции по органической химии. Ч. 1–2, 2015–2016; Борщевский А.Я. Основы квантовой механики, 2016; Борщевский А.Я. Физическая химия. Т. 1–2, 2017; Леванов А.В. Основы статистической термодинамики, 2019; Высокомолекулярные соединения. Учебник и практикум для акад. бакалавриата. Под ред. Зезина А.Б., 2019; Дядченко В.П. Основные понятия стереохимии, 2020; Дроздов А.А., Еремин В.В., Шевельков А.В. Основы неорганической химии.

Ч. 1. 2020; Шевельков А.В., Дроздов А.А., Тамм М.Е. Неорганическая химия. Учебник, 2020 (2023, 2-е изд.); О.А. Реутов, А.Л. Курц, К.П. Бутин. Органическая химия. Ч. 1–4. 2021–2022; Милаева Е.Р. Неорганическая медицинская химия, 2022; Еремин В.В. и др. Основы физической химии. Учебник. Ч. 1–2. 7-е изд., 2023; Григорьев А.Н., Мартыненко Л.И. и др. Неорганическая химия. Химия элементов. Т. 1–2, 2023; Инструментальные методы в химии, 2024; Баум Е.А., Богатова Т.В. Очерки по истории химии и химического инструментария в XIX веке. М., 2024. Пополнился набор задачников и руководств для лабораторных работ и практикумов: Практикум по физической химии. Физические методы исследования, 2014; Моногарова О.В., Мугинова С.В., Филатова Д.Г. Аналитическая химия. Задачи и вопросы, 2016; Жмурко Г.П. и др. Вопросы и задачи по общей и неорганической химии, 2016; Практикум по физической химии, 2017; Кузьменко Н.Е. и др. Тестовые задания по физической химии, 2017; Ливанцов М.В. и др. Органическая химия. Задачи по общему курсу с решениями, 2019; Еремин В.В., Борщевский А.Я. Сборник задач по общей и физической химии. 2019; Основы аналитической химии: задачи и вопросы, 2020; Ардашникова Е.И., Карпова Е.В., Мазо Г.Н., Розова М.Г., Шевельков А.В. Неорганическая химия. Вопросы и задачи, 2020; Ардашникова Е.И., Демидова Е.Д., Алёшин В.А. Неорганическая химия. Практикум, 2021.

В последние годы повышается интерес как к истории химии в целом, так и к истории отдельных ее разделов. В последние десять лет на химическом факультете было организовано несколько международных историко-научных конференций: «К истории лабораторий: теория, практика, учебно-образовательная деятельность» (20–21 ноября 2017 г.), «История химии и химического образования: междисциплинарные отражения» (25–27 ноября 2021 г.), «Алхимический миф: вариации контекстов» (26–27 января 2024 г.), сотрудники группы истории химии принимали активное участие в профильных конференциях в других учреждениях (в том числе зарубежных). Интерес к собственной истории повысился и у ряда кафедр химического факультета. В последнее время начали выходить книги и другие крупные работы по истории отдельных

² Здесь и далее авторы приводят в списке в основном книги, вышедшие в рассматриваемый период первым изданием, и не претендуют на исчерпывающее перечисление всех опубликованных сотрудниками химфака учебников и монографий.

кафедр и отдельных областей науки: Шевельков А.В. и др. История неорганической химии в Московском университете, 2015; Ненайденко В.Г. и др. История органической химии в Московском университете, в кн.: История органической химии в университетах России. От истоков до наших дней. М., 2018, с. 125–183; Золотов Ю.А. Аналитическая химия в Московском университете. М., 2023; Кафедра химической кинетики. События, люди, годы. М., 2019; готовятся к печати книги о физической химии в Московском университете, о кафедре химической технологии. Выходят книги, посвященные выдающимся химикам университета: Богатова Т.В. Владимир Сергеевич Гулевич. М., 2017; Дорогой наш Илья Васильевич Березин [Воспоминания]. М., 2023; Валерий Васильевич Лунин. Листая страницы жизни [Воспоминания]. М., 2021; готовится к печати в издательстве МГУ книга о проф. Е.И. Шпитальском.

Химический факультет МГУ ведет активную работу по популяризации науки. Факультет является одной из масштабных площадок всероссийского фестиваля НАУКА 0+, налаживая диалог между наукой и обществом посредством привлечения внимания к научной работе, демонстрации результатов исследовательской деятельности, приглашения для публичных выступлений ученых с мировым именем [104].

При непосредственной поддержке факультета организованы химические классы СУНЦ МГУ и подготовительные курсы для школьников. При факультете работает Школа химика (для учащихся 8–11 классов).

В начале 1990-х годов факультетом была организована эффективная система привлечения талантливой молодежи России, стран СНГ и Балтии. Факультет активно поддерживает олимпиадное движение, является бессменным организатором профильных задач по химии для широкого спектра олимпиад (в частности, для олимпиады «Ломоносов» и др.). Особо следует отметить Международную Менделеевскую олимпиаду как единственную, объединяющую бывшие республики Советского Союза. Ее проведение никогда не прерывалось, несмотря на все изменения, происходящие в нашей стране.

Начиная с 2018 г., химический факультет МГУ является бессменным организатором направления «Химия» во Всероссийской олимпиаде студентов «Я – профессионал». Это проект президентской платформы «Россия – страна возможностей», реализуемый при поддержке Министерства науки и образования Российской Федерации. В 2023 г. 238 студентов МГУ стали дипломантами олимпиады. Победители это-

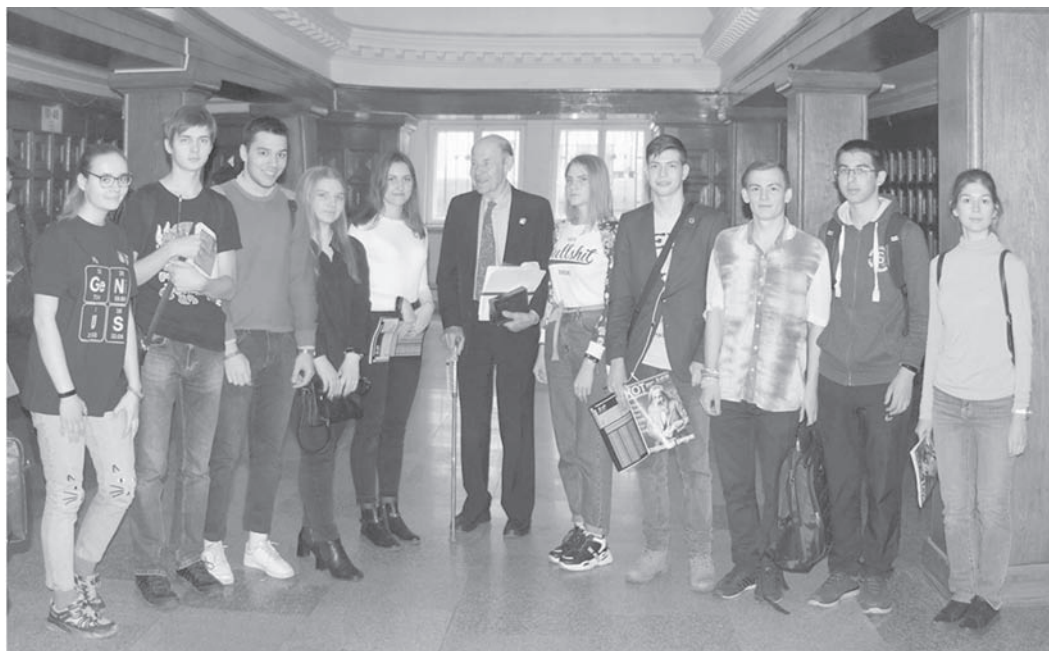


Рисунок 4. Студенты химического факультета МГУ и Института тонких химических технологий РТУ МИРЭА вместе с Нобелевским лауреатом по химии Дадли Хершбахом на Всероссийском фестивале НАУКА 0+ в 2019 г. Фото Н.В. Лобанова

го престижного конкурса получают льготы при поступлении в магистратуру, аспирантуру и ординатуру ведущих вузов или возможность пройти стажировку в крупных российских компаниях.

Сотрудники химфака уделяют много внимания созданию школьных учебников и другой литературы для средней школы. Прежде всего следует назвать линию учебников по химии: в добавление к уже вышедшим ранее пособиям для 8–11 классов (авт. Еремин В.В., Дроздов В.В., Лунин В.В.) в последнее десятилетие тем же авторским коллективом был создан вариант этой линейки для углубленного уровня: Химия 8 класс, Химия 9 класс (оба под ред. С.Н. Калмыкова, 2024), Химия 10 класс, Химия 11 класс (оба под ред. В.В. Лунина, 2014), а также Химия 7 класс (2019, под ред. В.В. Лунина). Все эти учебники ежегодно переиздаются и существуют в виде учебно-методических комплектов³ (как и более ранние издания). Следует также добавить сборники задач: Химия 10–11 класс. Задачник (2023, авт. Еремин В.В., Дроздов А.А., Ромашов Л.В.), Химия 8–9 класс. Задачник (2022, те же авторы). Продолжают выходить и пособия для абитуриентов (книга «Начала химии для поступающих в вузы», авт. Еремин В.В., Дроздов А.А., Попков В.А. насчитывает уже больше 20 изданий), и сборники олимпиадных заданий, созданные большими коллективами авторов с химфака МГУ и из других вузов («Методические материалы для проведения заключительного этапа Всероссийской олимпиады школьников по химии в 5 частях», под ред. акад. С.Н. Калмыкова, 2023; «МГУ – школе. Экзаменационные и олимпиадные задания по химии», 2022; «Сборник заданий XV Олимпиады по нанотехнологиям», 2021 и др.). Интересны и актуальны регулярно выходящие сборники «Естественнонаучное образование» (под ред. проф. Г.В. Лисичкина), посвященные различным научным и методическим проблемам химического и естественного образования в высшей и средней школе.

В 2022 г. на базе химического факультета МГУ прошел Всероссийский съезд учителей и преподавателей химии, посвященный вопросам химического образования в школах и колледжах, задачей которого являлся поиск решений для актуальных проблем образования в условиях активных изменений в учебной системе и потребности в квалифицированных химиках [105].

В настоящее время на факультете обучаются более 1200 студентов и примерно 300 аспирантов. Химический факультет ежегодно выпускает свыше 200 специалистов-химиков. Для иностранных студентов предусмотрено обучение по программам бакалавриата.

Выпускники химического факультета МГУ востребованы не только в России, но и в зарубежных университетах и научно-исследовательских центрах мира. Многие из них избраны почетными членами других университетов и международных организаций.

С 1966 г. ежегодно во вторую субботу мая факультет проводит День химика. Праздник с самого начала задумывался как молодежная альтернатива официальным мероприятиям и никак не был связан с государственным Днем работников химической промышленности (третье воскресенье мая). Инициатива проведения первого праздника принадлежала студентам четвертого курса 1965/1966 учебного года – В. Ширяеву, В. Лунину, А. Киселеву, П. Лазареву и др. В основу сценария праздника положена периодическая система элементов Д.И. Менделеева – каждый год чествуются следующие по порядку химический элемент. Организацией праздника традиционно занимались студенты 4-го курса соответствующего года [106], в настоящее время к ним подключаются все желающие. С 1971 г. в честь Дня химика выпускается тематический значок. Со временем эти значки составили обширную серию, пользующуюся заслуженным вниманием коллекционеров.

В настоящее время на химическом факультете учатся более 1400 студентов и 300 аспирантов, открыты несколько магистерских программ по химии и химической технологии, финансируемых за счет бюджета Российской Федерации, а также курсы повышения квалификации. В состав химического факультета входят 10 научно-образовательных центров (включая новый вычислительный кластер) и 11 центров коллективного пользования. Здесь работают 1800 сотрудников, в том числе 16 академиков РАН и 20 членов-корреспондентов РАН. На факультете действуют 16 научных кафедр и 92 лаборатории (в том числе 4 мегагрант-лаборатории), которые занимаются всеми направлениями химической науки – от квантовой и вычислительной химии до химии живых систем.

³ Учебно-методический комплект (УМК) представляет собой совокупность материалов по данной дисциплине для данного года обучения; в него могут входить учебник, программа курса, методическое пособие для учителя, рабочие тетради для учащихся и пр.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зайцева Е.А., Поповкин Б.А. Химическому факультету МГУ 60 лет // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 2. Химия. 1989. Т. 30. № 6. С. 531.
2. Зайцева (Баум) Е.А., Лунин В.В. Химическому факультету МГУ 85 лет // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 2. Химия. 2014. Т. 55. № 5. С. 251.
3. Лунин В.В. Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова – химическому образованию и науке в России // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 2. Химия. 2005. Т. 46. № 2. С. 84.
4. Химический факультет Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова / Отв. ред. В.В. Лунин. М., 2009.
5. Марковников В.В. Исторический очерк химии в Московском университете // Ломоносовский сборник. Материалы для истории развития химии в России. М., 1901 (Химия в университетах России: путь в полтора столетия (Ломоносовский сборник). Репринт. Воспроизведение изд. 1901 г. / М., 2004);
6. Фигуровский Н.А., Быков Г.В., Комарова Т.А. Химия в Московском университете за 200 лет (Краткий исторический очерк). М., 1955.
7. Московский университет в годы Великой Отечественной войны, М., 1985.
8. Великая война и ее великие воины. Фронтовики-химфаковцы вспоминают // Сост. Г.Ф. Бебих, Т.В. Богатова. М., 2005. 210 с.
9. Путилова И.Н., Базелин С.А., Баранник В.П. Защита металлов от разъедания кислотами (Органические ингибиторы и их применение). М., 1945. 31 с.
10. Московский университет в Великой Отечественной войне. 4-е изд., переработанное и дополненное. М., 2020. 632 с.
11. Постановление № 803 Совмина СССР «О строительстве нового здания для Московского государственного университета». 15 марта 1948 г. // ЦМАМ, ф. 150, оп. 24, д. 87, л. 237.
12. Крашенинников В.В. И.Г. Петровский и его время. // Проблемы истории советского государства и общества: сб. науч. тр. Брянск, 2008. Вып. II. С. 44.
13. Из сообщения ТАСС об открытии новых зданий Московского университета 1 сентября 1953 г. [Электронный ресурс] (<http://letopis.msu.ru/content/iz-soobshcheniya-tass-ob-otkrytii-novyh-zdaniy-moskovskogo-universiteta-1-sentyabrya-1953-g>).
14. Bulgakov B.A., Babkin A.V., Dzhevakov P.B., Bogolyubov A.A., Sulimov A.V., Kepman A.V., Kolyagin Yu.G., Guseva D.V., Rudyak V.Yu., Chertovich A.V. // *European Polymer J.* 2016. № 84. P. 205.
15. Nechausov S.S., Aleksanova A.A., Morozov O.S., Bulgakov B.A., Babkin A.V., Kepman A.V. // *Reactive and Functional Polymers.* 2021. Vol. 164. P. 104932.
16. Pavlova J.A., Ivanov A.V., Maksimova N.V., Pokholok K.V., Vasiliev A.V., Malakho A.P., Avdeev V.V. // *J. Physics and Chemistry of Solids.* 2018. Vol. 116. P. 299.
17. Marikutsa A., Rumyantseva M., Konstantinova E., Gaskov A. // *Sensors.* 2021. T. 21. P. 2554.
18. Krivetskiy V.V., Andreev M.D., Efitov A.O., Gaskov A.M., Sens. Actuators B. 2021. T. 329. P. 129187
19. Nasonova D.I., Verchenko V.Yu., Tsirlin A.A., Shevelkov A.V. // *Chem. Mater.* 2016. Vol. 28. P. 6621.
20. Verchenko V.Yu., Wei Zh., Tsirlin A.A., Callaert C., Jesche A., Hadermann J., Dikarev E.V., Shevelkov A.V. // *Chem. Mater.* 2017. Vol. 29. 9954.
21. Utochnikova V. Lanthanide complexes as OLED emitters // *Handbook on the Physics and Chemistry of Rare Earths* / ed. Bunzli J.-C.G., Pecharsky V. Elsevier, 2021.
22. Tcelykh L., Vashchenko A., Medvedko A., Marciniak L., Aleksandrov A., Goloveshkin A., Lepnev L., Latipov E., Burlov A., Utochnikova V. J. // *Mater. Chem. C.* 2021 (10.1039/D1TC04600D).
23. Kovalenko A., Rublev P., Tcelykh L., Goloveshkin A., Lepnev L., Burlov A., Vashchenko A., Marciniak L., Magerramov A., Shikhaliyev N., Vatsadze S., Utochnikova V. // *Chem. Mater.* 2019. Vol. 31. N 3. P. 759 (10.1021/acs.chemmater.8b03675).
24. Пат. № 2 672 160.
25. Babkin A.V., Kubarkov A.V., Drozhzhin O.A., Urvanov S.A., Filimonenkov I.S., Tkachev A.G., Mordkovich V.Z., Sergeyev V.G., Antipov E.V. // *Doklady Chemistry.* 2023. Vol. 508. № 1. P. 1 (DOI: 10.1134/s001250082360013x).
26. Kubarkov A.V., Asharchuk A.A., Drozhzhin O.A., Karpushkin E.A., Stevenson K.J., Antipov E.V., Sergeyev V.G. *ACS Applied Energy Materials.* 2021. Vol. 4. N 11. P. 12310 (DOI: 10.1021/acsaem.1c02135).
27. Абакумов А.М., Дрожжин О.А., Бурова Д.Ю., Ярчук А.Р., Сергеев В.Г., Карпушкин Е.А., Кубарьков А.В., Суманов В.Д., Стивенсон К.Д. // Патент № 2723638, 17 июня 2020 г.
28. Bobyleva Z.V., Drozhzhin O.A., Dosaev K.A., Kamiyama A., Ryazantsev S.V., Komaba S., Antipov E.V. *Electrochim. Acta.* 2020. Vol. 354. P. 136647.
29. Bobyleva Z.V., Drozhzhin O.A., Alekseeva A.M., Dosaev K.A., Peters G.S., Lakienko G.P., Perfilyeva T.I., Sobolev N.A., Maslakov K.I., Savilov S.V., Abakumov A.M., Antipov E.V. // *ACS Appl. Energy Mater.* 2023. Vol. 6 (1). P. 181.
30. Мырза М.С., Вибе Д.З., Васюнин А.И., Варакин В.Н., Столяров А.В. // *Успехи химии.* 2020. Т. 89. Вып. 4. С. 4308.
31. Mitev G.B., Taylor S., Tennyson J., Yurchenko S.N., Buchachenko A.A., Stolyarov A.V. // *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society.* 2022. Vol. 511 (2). P. 2349.
32. Popov A.M., Berezhnoy A.A., Borovička J., Labutin T.A., Zaytsev S.M., Stolyarov A.V. // *Monthly*

- Notices of the Royal Astronomical Society. 2021. Vol. 500 (4). P. 4296.
33. Мурга М.С., Варакин В.Н., Столяров А.В., Вибс Д.З. *Астрономический журнал*. 2019. Vol. 96 (8). P. 619.
 34. Labutin T.A., Zaytsev S.M., Popov A.M., Zorov N.B. // *Optics Express*. 2014. Vol. 22. N 19. P. 22382.
 35. Akhmetzhanov T.F., Popov A.M. // *J. Analytical Atomic Spectrometry*. 2022. Vol. 37. N 11. P. 2330.
 36. Sushkov N.I., Labutin T.A. *Spectrochimica Acta. Part B*, 2024. Vol. 211. P. 106834.
 37. Labutin T.A., Popov A.M., Zaytsev S.M., Zorov N.B., Belkov M.V., Kiris V.V., Raikov S.N. *Spectrochimica Acta. Part B*. 2014. Vol. 99. P. 94.
 38. Popov A.M., Drozdova A.N., Zaytsev S.M., Biryukova D.I., Zorov N.B., Labutin T.A. // *J. Analytical Atomic Spectrometry*. 2016. Vol. 31. N 5. P. 1123.
 39. Labutin T.A., Zaytsev S.M., Popov A.M., Zorov N.B. // *J. Analytical Atomic Spectrometry*. 2016. Vol. 31. N 11. P. 2223.
 40. Dunaevsky Y.E., Tereshchenkova V.F., Belozersky M.A., Filippova I.Y., Oppert B., Elpidina E.N. // *Pharmaceutics*. 2021. Vol. 13 (10). P. 1603 (doi: 10.3390/pharmaceutics13101603).
 41. Сергеев А.В., Тевяшова А.Н., Воробьев А.П., Громова Е.С. // *Биохимия*. 2019. Vol. 84. № 2. P. 229.
 42. Sergeev A., Vorobyov A., Yakubovskaya M., Kirsanova O., Gromova E.S. // *Bioorg. Med. Chem. Lett.* Elsevier Ltd. 2020. Vol. 30. N 16. P. 127296.
 43. Khrabrova D.A., Loiko A.G., Tolkacheva A.A., Cherepanova N.A., Zvereva M.I., Kirsanova O.V., Gromova E.S. // *Biomolecules*. 2020. Vol. 10. P. 8.
 44. Radchenko E.V., Dyabina A.S., Palyulin V.A. *Molecules*, 2020. Vol. 25. P. 5901.
 45. Лозинская Н.А., Зарянова Е.В., Бабков Д.А., Клочков В.Г., Спасов А.А., Ефремов А.М., Безсонова Е.Н., Цымляков М.Д. Пат. № 2734495. Правообладатель – МГУ имени М.В.Ломоносова.
 46. Бачурин С.О., Григорьев В.В., Зефилов Н.С., Лавров М.И., Лаптева В.Л., Палюлин В.А. Пат. BY 16991. Правообладатель – МГУ имени М.В.Ломоносова.
 47. Додохова М.А., Сафроненко А.В., Котиева И.М., Алхусейн-Кулягинова М.С., Котиева Е.М., Котиева В.М., Никитин Е.А., Шпаковский Д.Б., Милаева Е.Р. // *Вопросы онкологии*. 2022. Т. 68. № S3. P. 305.
 48. Додохова М.А., Котиева И.М., Сафроненко А.В., Алхусейн-Кулягинова М.С., Сухорукова Н.В., Котиева В.М., Котиева Е.М., Старостин С.И., Шпаковский Д.Б., Никитин Е.А., Милаева Е.Р. // *Бюллетень экспериментальной биологии и медицины*. 2022. Т. 17. № 5. С. 588.
 49. Ivanova I.I., Kolyagin Yu.G., Kasyanov I.A., Yakimov A.V., Bok T.O., Zarubin D.N. // *Angewandte Chemie—International Edition*. 2017 (DOI: 10.1002/anie.201709039).
 50. Bok T.O., Andriako E.P., Knyazeva E.E., Ivanova I.I. // *RSC Adv*. 2020. Vol. 10. P. 38505 (DOI: 10.1039/d0ra07610d).
 51. Иванова И.И., Князева Е.Е. Пат. РФ № 2640236, 27.12.2017.
 52. Иванова И.И., Князева Е.Е. Пат. РФ № RU2675018, 14.12.2018;
 53. Андриако, Е.П., Бок, Т.О., Князева, Е.Е., Иванова И.И. (2019). Пат. РФ № 2 737 895 С1.
 54. Пат. РФ 2637690 (2017).
 55. Пат. РФ 2744163 (2020).
 56. Belyakov A.V., Losev V.A., Rykov A.N., Shishkov I.F., Kuznetsov V.V., Khakhalev A.V., Sheremetev A.B. // *J. Molecular Structure*. 2022. Vol. 1250. P. 131669.
 57. Ерохин Е.В., Ищенко А.А., Лобанов Н.В., Тарасов Ю.И. Пат. RU 2791838 (2023).
 58. Воронин Г.Ф. // *ЖФХ*. 2005. Т. 79. № 12. С. 2126.
 59. Voskov A.L., Kutsenok I.B., Voronin G.F. // *CALPHAD*. 2018. Vol. 61. P. 50.
 60. Voskov A.L., Voronin G.F. // *J. Chem. Eng. Data*. 2016. Vol. 61. № 12. P. 4110.
 61. Khrenova M.G., Kulakova A.M., Nemukhin A.V. // *J. Chem. Inf. Model*. 2021. Vol. 61. N 3. 1215.
 62. Grigorenko B.L., Polyakov I.V., Khrenova M.G., Giudetti G., Faraji Sh., Krylov A.I., Nemukhin A.V. // *J. Am. Chem. Soc*. 2023. Vol. 145. N 24. P. 13204.
 63. Shybanov D.E., Filkina M.E., Kukushkin M.E., Grishin Yu.K., Roznyatovsky V.A., Zyk N.V., Beloglazkina E.K. // *New J. Chemistry*, 2022. Vol. 46. P. 18575 (DOI: 10.1039/D2NJ03756D).
 64. Filkina M.E., Baray D.N., Beloglazkina E.K., Grishin Yu.K., Roznyatovsky V.A., Kukushkin M.E. // *International J. Molecular Sciences*. 2023. Vol. 24 (2). P. 1289 (DOI: 10.3390/ijms24021289).
 65. Mitrofanov A.Yu., Beletskaya I.P. // *J. Org. Chem*. 2023. Vol. 88. P. 2367 (DOI: 10.1021/acs.joc.2c02780).
 66. Kotovshchikov Y.N., Latyshev G.V., Kirillova E.A., Moskalenko U.D., Lukashev N.V., Beletskaya I.P. // *J. Org. Chem*. 2020. Vol. 85. P. 9015 (DOI: 10.1021/acs.joc.0c00931).
 67. Goncharova I.K., Novikov R.A., Beletskaya I.P., Arzumanyan A.V. // *J. Catal*. 2023. Vol. 418. P. 70 (DOI: 10.1016/j.jcat.2023.01.004).
 68. Kuliukhina D.S., Chernichenko N.M., Averin A.D., Abel A.S., Maloshitskaya O.A., Beletskaya I.P. // *Chemosensors* 2023. Vol. 11. P. 186 (DOI: 10.3390/chemosensors11030186).
 69. Sentyurin V.V., Levitskiy O.A., Bogdanov A.V., Yankova T.S., Dorofeev S.G., Lyssenko K.A., Magdesieva T.V. // *Chem. – A Eur. J*. 2023. Vol. 29. e202301250.
 70. Machulkin A.E., Uspenskaya A.A., Zyk N.Y., Nimenko E.A., Ber A.P., Petrov S.A., Shafikov R.R., Skvortsov D.A., Smirnova G.B., Borisova Y.A., Pokrovsky V.S., Kolmogorov V.S., Vaneev A.N., Ivanenkov Y.A., Khudiyakov A.D., Kovalev S.V., Erofeev A.S.,

- Gorelkin P.V., Beloglazkina E.K., Zyk N.V., Khazanova E.S., Majouga A.G. // *European Journal of Medicinal Chemistry*. 2022. 227:113936 (DOI: 10.1016/j.ejmech.2021.113936).
71. Romanyuk A.V., Grozdova I.D., Ezhov A.A., Melik-Nubarov N.S. // *Scientific Reports*. 2017. Vol. 7. N 1 (DOI: 10.1038/s41598-017-03527-w).
72. Popov A.S., Efimova A.A., Kazantsev A.V., Erzunov D.A., Lukashev N.V., Grozdova I.D., Melik-Nubarov N.S., Yaroslavov A.A. // *Mendeleev Com.* 2021. Vol. 31. P. 827.
73. Yaroslavov A.A., Efimova A.A., Krasnikov E.A., Troshcheva K.S., Popov A.S., Melik-Nubarov N.S., Krivtsov G.G. // *Int. J. Biol. Macromol.* 2021. Vol. 177. P. 455.
74. Yaroslavov A., Efimova A., Smirnova N., Erzunov D., Lukashev N., Grozdova I., Melik-Nubarov N. // *Colloids Surf. B*, 2020. Vol. 190. P. 110906.
75. Spiridonov V.V., Sadovnikov K.S., Vasilenko D.A., Sedenkova K.N., Lukmanova A.R., Markova A.A., Shibaeva A.V., Bolshakova A.V., Karlov S.S., Averina E.B., Yaroslavov A.A. // *Mendeleev Comm.* 2022. Vol. 32. P. 591.
76. Panova I.G., Shevaleva E.A., Gritskova I.A., Loiko N.G., Nikolaev Yu.A., Novoskoltseva O.A., Yaroslavov A.A. // *Polymers*. 2022. Vol. 14. P. 4598.
77. Пат. РФ 2711757. 2020 г.
78. Пат. РФ 2745824. 2021 г.
79. Пат. РФ 2773945. 2022 г.
80. Gorbunov D.N., Nenasheva M.V., Naranov E.R., Maximov A.L., Rosenberg E., Karakhanov E.A. // *Applied Catalysis A: General*. Vol. 623. N 118266. 2021 (DOI: 10.1016/j.apcata.2021.118266).
81. Nenasheva M.V., Gorbunov D.N., Karasaeva M.M., Maximov A.L., Karakhanov E.A. // *Molecular Catalysis*. 2021. Vol. 516. N 112010. (DOI: 10.1016/j.mcat.2021.112010).
82. Gorbunov D., Safronova D., Kardasheva Yu., Maximov A., Rosenberg E., Karakhanov E. // *ACS Applied Materials & Interfaces*. 2018. Vol. 10. N 31. P. 26566.
83. Akopyan A.V., Polikarpova P.D., Gul O.O., Anisimov A.V., Karakhanov E.A. // *Energy and Fuels*. Vol. 34. N 11. P. 14611–14619. 2020 (DOI: 0.1021/acs.energyfuels.0c02008).
84. Eseva E., Lukashov M., Cherednichenko K., Levin I., Akopyan A. // *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 2021. Vol. 60 (39). P. 14154 (DOI: <http://doi.org/10.1021/acs.iecr.1c03201>).
85. Akopyan A.V., Kulikov L.A., Polikarpova P.D., Shlenova A.O., Anisimov A.V., Maximov A.L., Karakhanov E.A. *Industrial and Engineering Chemistry Research*. 2021. Vol. 60. N 25. P. 9049 (DOI: 10.1021/acs.iecr.1c00886).
86. Bazhenova M.A., Kulikov L.A., Bolnykh Yu.S., Maksimov A.L., Karakhanov E.A. *Catalysis Communications*. 2022. Vol. 170. N 106486 (DOI: 10.1016/j.catacom.2022.106486).
87. Statkus M.A., Goncharova E.N., Gorbacheva S.Y., Tsytsin G.I. // *Talanta*. 2018. Vol. 188. P. 365.
88. Arkhipova A., Tsytsin G., Statkus M., Bol'shov M., Seregina I., Zolotov Yu. // *Talanta*. 2016. Vol. 161. P. 497.
89. Горбовская А.В., Попкова Е.К., Ужель А.С., Шпигун О.А., Затираха А.В. *Журнал аналитической химии*. 2023. Т. 78. № 6. С. 507.
90. Shchukina O.I., Zatrakha A.V., Uzhel A.S., Smolenkov A.D., Shpigun O.A. // *Analytica Chimica Acta*. 2017. Vol. 964. P. 187.
91. Proskurnin M.A., Khabibullin V.R., Usoltseva L.O., Vyrko E.A., Mikheev I.V., Volkov D.S. // *Uspekhi Fizicheskikh Nauk*. 2022. Vol. 192. N 3. P. 294.
92. Proskurnin M.A., Usoltseva L.O., Volkov D.S., Nedosekin D.A., Korobov M.V., Zharov V.P. // *J. Physical Chemistry C*. 2021. Vol. 125. N 14. P. 7808.
93. Nikitina V.N., Karastsialiova A.R., Karyakin A.A. // *Biosensors and Bioelectronics*. 2023. Vol. 220. P. 114851.
94. Daboss E.V., Shcherbacheva E.V., Tikhonov D.V., Karyakin A.A. // *J. Electroanalytical Chemistry*. 2023. P. 117330.
95. Turova P., Rodin I., Shpigun O., Stavrianidi A. *Phytochemical Analysis*. 2020. Vol. 31. N 6. P. 948.
96. Sarvin B., Himmelsbach M., Baygildiev T., Shpigun O., Rodin I., Stavrianidi A., Buchberger W. // *J. Chromatography A*. 2019. Vol. 1597. P. 214.
97. *Organophosphorus Neurotoxins: monograph* / Eds. S.D. Varfolomeev, E.N. Efremenko. M., 2020. 380 p. ISBN 978-5-369-02026-5 (doi:10.29039/02026-5).
98. Egorov A., Rubtsova M., Grigorenko V., Uporov I., Veselovsky A. // *Biomolecules*. 2019. Vol. 9. N 854. P. 1.
99. Биолюминесцентная АТФ-метрия: практические аспекты (монография). М., 2022. 376 с.
100. Nukolova N.V., Aleksashkin A.D., Abakumova T.O., Morozova A.Y., Gubskiy I.L., Kirzhanova E.A., Abakumov M.A., Chekhonin V.P., Klyachko N.L., Kabanov A.V. // *J. Controlled Release*. 2018. Vol. 270. P. 226.
101. Vlasova K.Yu., Hemant V., Abakumov M.A., Golovin D.Yu., Gribanovsky S.L., Zhigachev A.O., Poloznikov A.A., Majouga A.G., Golovin Yu.I., Sokolsky-Papkov M., Klyachko N.L., Kabanov A.V. // *Scientific Reports*. 2020. Vol. 10 Art. N 4745. P. 1.
102. Синицын А.П., Синицына О.А., Зоров И.Н., Рожкова А.М. // *Вестн. Моск. ун-та. Сер. химия*. 2023. Т. 64. № 4. С. 81.
103. Химический факультет – лидер МГУ по научным статьям // *Химический факультет МГУ: сайт*. 2024. 04 июня. URL: <https://chem.msu.ru/fakultet/novosti/khimicheskij-fakultet-lider-mgu-po-nauchnym-statyam> (дата обращения: 17.10.2024).
104. О Всероссийском фестивале науки / *Инновации*. 2011. № 9. С. 62.
105. Резолюция Всероссийского съезда учителей и преподавателей химии. МГУ имени М.В. Ломоносова. Москва, 27 июня – 01 июля 2022 года.
106. Ширяев В.М. *Все началось с водорода...* М., 2015. 94 с.

Информация об авторах

Татьяна Витальевна Богатова – доцент кафедры физической химии химического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова, канд. хим. наук (bogtv@mail.ru);

Сергей Сергеевич Карлов – профессор кафедры органической химии химического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова, докт. хим. наук (ssk_ssk@mail.ru);

Николай Валерьевич Лобанов – инженер, мл. науч. сотр. НИЛ электронографии кафедры физической химии химического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова (Lnw94@yandex.ru).

Вклад авторов

Т.В. Богатова – руководство выполнения работы, постановка задач, написание текста статьи;

С.С. Карлов – руководство выполнения работы, редактирование статьи;

Н.В. Лобанов – анализ литературных источников, поиск публикаций по теме статьи, написание текста статьи, оформление библиографии, создание иллюстративных материалов.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 10.07.2024;
одобрена после рецензирования 16.07.2024;
принята к публикации 25.10.2024.