

ХИМИЧЕСКИЙ ЭКСПЕРИМЕНТ В ПРОЕКТНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Колясников О.В., Морозова Н.И.

*Специализированный учебно-научный центр (факультет) —
школа-интернат имени А.Н. Колмогорова МГУ
имени М.В. Ломоносова*

Современный ФГОС СОО [1] требует выполнения индивидуального проекта или учебного исследования каждым школьником. Для дальнейшей специализации учащихся в области современной науки и технологии крайне полезно выполнение данной работы по естественнонаучной тематике, в частности по химии.

Главная особенность работ по химии – это экспериментальная часть как обязательный этап работы. Как подчеркивалось, химический эксперимент, при правильном к нему подходе, имеет самостоятельную познавательную ценность, в частности при его применении в проектной и исследовательской деятельности [2, 3].

Исследовательская деятельность учащихся на химическом и биологическом отделениях СУНЦ МГУ системно развивается более пятнадцати лет [4], были опробованы разные её модели [5]. На основании негативного опыта можно с уверенностью сказать, что реферативная работа без эксперимента не отвечает целям полноценного проекта по химии и может служить лишь подготовительным этапом к его осуществлению. Химия – экспериментальная наука, и проект по химии призван научить школьника в том числе грамотно ставить опыты и интерпретировать их результаты.

Наличие экспериментальной деятельности в химическом проекте сопряжено с некоторыми проблемами. Во-первых, это большие сроки выполнения работ по отношению к чисто теоретическим работам: постановка эксперимента требует времени. Во-вторых, проведе-

ние опытов требует материальных затрат (реактивы, посуда, оборудование), причём материалы в массе своей расходуются необратимо, в отличие от других предметных областей, например физики, где с одними и теми же инструментами и материалами могут экспериментировать многие поколения школьников. В-третьих, чтобы проект был по-настоящему нов, интересен и конкурентоспособен на конференциях, в большинстве случаев необходима специфическая научно-техническая база (приборы для физико-химических методов исследования, отсутствующие в школе реактивы и материалы, специальная посуда и т. п.). В-четвёртых, существует кадровая проблема: даже очень компетентный педагог может качественно руководить вряд ли более чем 1–3 работами (а в профильном химическом классе СУНЦ МГУ выполнить проект по химии в течение двух лет обучения должен каждый учащийся).

Как преодолеваются эти ограничения? Универсальное средство – привлечение материально-технической базы профильных факультетов университетов, научно-исследовательских институтов, центров по работе с одарёнными школьниками. В их лабораториях учащиеся получают доступ к приборам и технологиям, недоступным на базе школы (масс-спектрометрия, электронная микроскопия, газовая хроматография и т. п.). Разумеется, работа со сложными приборами должна курироваться специалистами, поэтому ещё одна особенность проектных работ по химии в СУНЦ МГУ – широкий контингент научных руководителей, не являющихся сотрудниками нашей организации. Участие «сторонних» руководителей также позволяет решить проблему малого количества преподавателей, недостаточного для обеспечения всех проектов.

Поскольку СУНЦ по своему юридическому статусу является факультетом МГУ, многие его преподаватели по совместительству работают на профильных факультетах, а выпускники на них учатся, задача представляется несложной. Кроме того, химический факультет традиционно (с 1990 года) обеспечивает практикумы по аналитической, органической и неорганической химии для учащихся химиче-

ского и биологического классов СУНЦ МГУ, что в декабре 2012 г. получило поддержку в приказе ректора [6]. За прошедший 2018–2019 учебный год учащимися СУНЦ МГУ было выполнено 11 работ на химическом факультете и 2 работы на ФНМ (а также 5 работ по биологии на биологическом факультете и 4 работы на ФББ). В прошлые годы проводились работы на факультете почвоведения, физическом факультете, факультете фундаментальной медицины. Полный перечень работ по годам приведен на странице кафедры химии СУНЦ МГУ [7].

Приведём примеры проектов, защищённых по материалам работ на профильных факультетах:

Видерский Константин (2019 г.). Синтез 2-хлор-1,10-фенантролина и его аминирование полиаминами (рук. А.С. Абель, химический факультет МГУ).

Осинцева Дарья (2019 г.). Двухфазные магнитные обменно-связанные нанокомпозиты на основе магнитотвердых частиц гексаферрита стронция (рук. Е.А. Горбачёв, А.Е. Слепцова, ФНМ МГУ).

Токарева Анастасия (2019 г.). Изучение амилоидогенных белков (рук. М.В. Медведева, ФББ МГУ).

Галгоева Марина (2017 г.). Влияние спиртов и полифенолов на активацию тромбоцитов и последующий рост тромбов (рук. Д.Ю. Нечипуренко, физический факультет МГУ).

Данилов Милан (2016 г.). Оценка роли потенциалзависимых калиевых каналов в NO-зависимом расслаблении легочных артерий у крыс с отсутствием кровообращения в месте бифуркации общей сонной артерии (рук. М.П. Давыдова, М.А. Марков (ФФМ МГУ)).

Полинова Альмина (2015 г.). Влияние борщевика на химическую активность почв (рук. Н.В. Костина, факультет почвоведения МГУ).

Однако «родственные связи» с университетами вовсе не обязательны для налаживания контактов в научной среде. Существует достаточное количество научно-исследовательских организаций, заинтересованных в выполнении проектных работ со школьниками, чтобы уже на раннем этапе привлечь мотивированную молодёжь к научной работе по своей тематике. Как правило, с ними возможно заключить

договор об учебно-методическом сотрудничестве. Такие договоры позволяют учащимся СУНЦ МГУ выполнять экспериментальную часть проектных работ в Институте элементоорганических соединений РАН им. А.Н. Несмеянова (в 2018 / 19 уч. г. – 3 работы), Институте нефтехимического синтеза РАН им. А.В. Топчиева (в 2018 / 19 уч. г. – 2 работы), Институте общей и неорганической химии РАН им. Н.С. Курнакова (в 2018 / 19 уч. г. – 1 работа). В прошлые годы работы выполнялись на базе Научно-исследовательского физико-химического института им. Л.Я. Карпова, а также в ряде других НИИ. Этот путь не уникален для СУНЦ – в том или ином виде схожий подход использует ряд московских школ с хорошо поставленной химической подготовкой (школа им. В.И. Чуйкова, школа № 171, школа № 192 и др.).

Вот некоторые примеры работ учащихся СУНЦ, выполненных в научно-исследовательских организациях:

Горбатюк Ева (2019 г.). Исследование поведения мономеров и осаждение полимеров в сверхкритическом диоксиде углерода (рук. А.А. Пестрикова, ИНЭОС РАН).

Никифорова Маргарита (2019 г.). Синтез новых композиционных наноматериалов на основе оксида графена или оксида олова (рук. П.В. Приходченко, ИОНХ РАН).

Хульт Энни (2018 г.). Термодинамика сорбции углеводов различных классов на полимере метатезисный поли(3-(трибутоксисилил)трициклононен-7) (рук. А.Ю. Канатьева, ИНХС РАН).

Белова Ирина (2018 г.). Ионные жидкости на основе кремния и их применение в качестве теплоносителей (рук. Г.С. Дейко, ИОХ РАН).

Безбородова Александра, Рябченко Анатолий (2017 г.). N-ацилированные дофамины (рук. М.Г. Акимов, ИБХ РАН).

Прошкина Анна (2017 г.). Радиационно-модифицированные наноконпозиции на основе политетрафторэтилена (рук. М.А. Арсентьев, НИФХИ).

Пушкина Диана (2015 г.). Топография поверхности сенсорных материалов на основе смешанных оксидов $\text{CeO}_2 - \text{In}_2\text{O}_3$ и $\text{CeO}_2 - \text{SnO}_2$ (рук. М.И. Иким, ИХФ РАН).

Партнёрами по экспериментальным химическим проектам могут быть также специализированные центры по работе со школьниками, такие как, например, ДНТТМ (Дом научно-технического творчества молодёжи), ЦМИТ (сеть Центров молодёжного инновационного творчества), образовательный центр «Сириус», регулярно проводящий проектные смены, летние школы проектного обучения (Международная компьютерная школа им. В. Волокитина и Е. Ширковой, Международная исследовательская школа Petnica International и т.п.). Отдельные работы выполняются на основе личных контактов, например, уже несколько лет проекты по синтезу душистых веществ и составлению парфюмерных композиций ведутся под руководством бывшего выпускника СУНЦ – специалиста в парфюмерии, в прошедшем году выполнена работа по биологии на базе агрохолдинга «Кубань».

Контакты с каждой организацией-партнёром осуществляет представитель СУНЦ МГУ – куратор, призванный упростить взаимодействие научных руководителей с учащимися и оперативно решать возникающие проблемы.

Несмотря на внешнюю поддержку взаимодействия школ с научно-исследовательскими организациями, иногда в педагогическом сообществе выступают против выполнения работ в лабораториях НИИ или факультетов университета и выдвигают аргумент: школьник не понимает того, что делает, так как тематика исследований зачастую выходит далеко за рамки школьной программы. Однако суть научной деятельности как раз и состоит в соприкосновении с неизвестным, поиске имеющейся информации, постановке и решении новой исследовательской задачи, а вовсе не в повторном изучении материала, уже хорошо известного исследователю. Разумеется, эксперименту должна предшествовать серьёзная подготовка под руководством наставника – сбор литературных данных по изучаемым объектам; изучение методов, которые будут использоваться; построение плана эксперимен-

тальной работы согласно поставленным целям и сформулированным гипотезам. Это позволит школьнику удовлетворительно ориентироваться в области своего исследования и работать осознанно.

Другое возражение состоит в том, что школьника нельзя допускать к серьёзным приборам, и защита таких работ заключается в пересказе чужих результатов. В самом деле, являясь членами жюри различных конференций и конкурсов, авторы неоднократно с грустью заслушивали подобные работы, реальный вклад учащегося в которые весьма сомнителен. Однако нельзя не отметить, что главное требование к экспериментальной части – непременно выполнение исследования собственными руками школьника с последующей самостоятельной обработкой полученных данных – вступает в противоречие с распространенной в научной деятельности практикой выполнения работы в коллаборации с другими членами научной группы. Ни в одном химическом исследовании один-единственный человек не проводит все без исключения операции: и подготовку образцов, и съёмку различных спектров, рентгенограмм, хроматограмм и т.д. Поэтому в научных статьях по химии всегда несколько авторов, наличие только одного автора допускается в обзорах либо в небольших тезисах, в остальных же случаях вызывает обоснованное подозрение. Отдать какую-то часть эксперимента «на аутсорсинг» специалисту – нормально и во многих случаях единственно правильно. Не стоит доводить самостоятельность до абсурда и ожидать, что школьник лично будет снимать масс-спектр и получать изображения на электронном микроскопе, если даже взрослые, сложившиеся учёные не делают всё это сами. Причина грусти на защитах работ со сложной экспериментальной частью в другом. Представляя свой проект, учащийся обязан иметь понятие о принципах, лежащих в основе всех используемых в работе методов, а также об интерпретации полученных результатов. К сожалению, взяв у специалиста готовый спектр, учащийся порой не дает себе труда разобраться, что за величины отложены по осям, как из этой картинки извлечь информацию и как её вообще получили. Одна из важных задач научного руководителя – ликвидировать этот пробел,

стать связующим звеном между специалистом и своим подопечным, позаботиться о том, чтобы последний действительно владел материалом, который докладывает.

Следует отметить, что сделать хороший доклад даже по детально проработанной теме с первого раза способны очень немногие учащиеся – это проблема более общего плана. Потому перед выходом на внешние мероприятия учащиеся проходят цепочку выступлений – на докладе по литературной части работы, на внутренней конференции по защите курсовых работ, на организуемой СУНЦ МГУ конференции «Колмогоровские чтения». По каждому выступлению школьник проходит дополнительную беседу с руководителем или куратором работы для совершенствования доклада. И лишь отработав представленные работы, можно двигаться далее.

Как отмечалось выше, сотрудничество с научными организациями позволяет делать проекты и исследования высокого уровня по актуальной современной тематике, что закономерно приводит к успешным выступлениям на российских и международных конкурсах, конференциях и выставках. Так, упомянутая выше работа Енни Хульт была удостоена серебряной медали на конференции научных работ школьников APCYS 2018 (Районг, Таиланд) и диплома II степени на конференции «XIX Школьные Харитоновские чтения» (г. Саров), стала победителем конкурса проектных работ школьников «Гениальные мысли» в рамках XIII Всероссийской Интернет-олимпиады по нанотехнологиям «Нанотехнологии – прорыв в будущее!»; работа Ирины Беловой в 2018 году стала призером международной конференции «Колмогоровские чтения» в Москве, заняла I место на Всероссийской научной конференции учащихся «Интеллектуальное возрождение» (Санкт-Петербург, 2019). Обе работы получили дипломы III степени на конференции Intel-Авангард 2019 в Москве, а также были представлены на выставке научных работ школьников Expo Science Europe MILSET 2018 (Гдыня, Польша).

Почему при таких перспективах не все учащиеся профильных классов СУНЦ МГУ направляются делать проекты по химии в науч-

ные организации? На это есть как минимум две причины. Во-первых, выполнение проектов требует времени, а его у школьников, плотно занятых учебной и олимпиадной работой, не слишком много. При планировании серьёзной работы невозможно точно предсказать время, необходимое для проведения исследования; не всегда эксперимент подтверждает изначально выдвинутую гипотезу, иногда для учёта полученных данных приходится её переформулировать, что влечёт изменение целей и задач работы. Кроме того, при выездах в другие организации тратится время на дорогу, что особенно негативно сказывается в Москве. Во-вторых, выполнение объёмной и качественной работы на незнакомом материале возможно лишь при глубокой вовлечённости в процесс, хорошем владении базовой химией и готовности разбираться в предмете исследования, высокой мотивации. По первой причине отпадают самые сильные и амбициозные школьники, участники олимпиад высокого уровня, часто отсутствующие из-за олимпиад и сборов. По второй причине к работе в сторонних организациях не привлекаются слабые ученики. Таким образом, основной контингент, практикующий выездные эксперименты и выполняющий конкурентоспособные работы – это твердые «средняки» с хорошей знаниевой базой, увлечённые наукой и при этом не нацеленные на победы в олимпиадах.

Снятие с преподавателей основной нагрузки по ведению проектов за счёт сотрудничества с внешними организациями освобождает время для руководства работами оставшихся учащихся в СУНЦ МГУ или в рамках химического практикума. Несмотря на ограниченную материальную базу, при должной заинтересованности и способностях учащегося возможно провести интересные эксперименты и сделать хороший проект. Всегда актуальны работы по химическому анализу с экологической подоплёкой, интересны школьникам работы по влиянию разных факторов на кристаллизацию, по оптимизации выращивания кристаллов, популярны работы по химическому синтезу. Примеры таких работ:

Калягин Алексей (2019 г.). Сравнение способов получения ацетата хрома (II) (рук. М.А. Лукьянова, СУНЦ МГУ).

Николаев Михаил (2019 г.). Кристаллизация серы в неводных растворах (рук. Н.И. Морозова, СУНЦ МГУ).

Никонорова Анастасия (2018 г.). Определение содержания питательных элементов в почве в условиях школьной лаборатории (рук. А.С. Сигеев, СУНЦ МГУ).

Мецерыков Николай (2017 г.). Синтез хлорида пентаамминнитристокобальта (III) (рук. А.И. Жиров, СУНЦ МГУ).

Привлекают внимание работы по нестандартным темам. Примеры таких работ:

Селиванова Светлана (2018 г.). Изучение комплексообразования в системах галогенид – галоген (рук. Н.И. Морозова, СУНЦ МГУ).

Дубодел Елисавета (2018 г.). Разработка биоразлагаемых полимеров из природного сырья (рук. А.С. Сигеев, СУНЦ МГУ).

Калиниченко Андрей (2017 г.). Поиск консервативных мотивов связывания антител с углеводными эпитопами с помощью водородных связей (рук. О.В. Колясников, СУНЦ МГУ).

Клименко Роман (2016 г.). Экспериментальный подбор оптимального состава катализатора окисления $C_6H_{14}O_6$ с KNO_3 (рук. В.В. Загорский, СУНЦ МГУ).

Сутдикова Аделия (2015 г.). Демонстрационный эксперимент, иллюстрирующий явления хемилюминесценции и флуоресценции (рук. Е.А. Менделеева, СУНЦ МГУ).

Наиболее интересные работы, выполненные на базе СУНЦ, также неплохо представляются на конференциях. Так, работа Елисаветы Дубодел заняла I место на Колмогоровских чтениях (Москва, 2018 г.) и была представлена на ярмарке-конференции MILSET Expo-Sciences Latin America 2018 (Антофагаста, Чили). Работа Светланы Селивановой участвовала в Международной выставке научно-исследовательских работ школьников в области науки и технологий MILSET Vostok Expo-Sciences в рамках Международных интеллектуальных игр в Якутии (2018).

Учителя часто сетуют, что школьники, выполняющие проекты в обычных школах, якобы не могут конкурировать на конференциях с работами, сделанными в контакте с институтами и факультетами. Ещё раз подчеркнём, что в перечисленных выше работах эксперимент выполнен без привлечения какого-то особенного оборудования, дорогих приборов и редких реактивов, в обычном помещении. Таким образом, усиленная материальная база сторонних организаций не является обязательным условием успеха работы (хотя нельзя отрицать, что способствует ему).

Хорошим подспорьем для выполнения эксперимента в проектной работе являются разнообразные компьютерно-измерительные системы (из них в СУНЦ используются цифровые лаборатории «Научные развлечения», «Релеон», L-micro, Vernier и др.). Многие школы оснащены ими, например, в рамках московских проектов предпрофессионального образования [8]. Они представляют собой набор подключаемых к компьютеру датчиков разных физических и химических параметров: температуры, электропроводности, pH, оптической плотности на разных длинах волн, напряжения, содержания углекислого газа и др. Работа с датчиками происходит в привычном для школьников компьютерном интерфейсе, данные удобно сохранять, обрабатывать, сравнивать, одновременно снимать несколько параметров и сразу строить корреляции. Их легко носить с собой в комплекте с маленьким ноутбуком (некоторые системы совместимы даже со смартфонами), проводить анализы на местности в рамках экскурсий и осуществлять целые комплексы исследований в экспедициях и выездных летних школах. Вдобавок ко всем этим достоинствам они, как мы уже писали ранее, относительно недороги по сравнению с профессиональными приборами и просты в обращении [9].

В СУНЦ МГУ регулярно защищаются проекты как использующие компьютерно-измерительные системы, так и посвящённые оценке их возможностей. Примером первых служит упомянутая выше работа Светланы Селивановой, сделанная с помощью комплекта датчиков оптической плотности. Работа Даниила Николаева (2016 г.) «Оп-

ределение тепловых эффектов растворения» (рук. Н.И. Морозова, СУНЦ МГУ) – представитель вторых. В данном проекте оптимизировалась методика определения тепловых эффектов растворения с помощью датчика температуры и оценивалась её погрешность. Работа Анастасии Никоноровой из вышеприведенного списка совмещает оба аспекта: сначала данные датчиков оптической плотности сравнивались с данными спектрофотометра на модельных системах, а затем с помощью датчиков анализировались реальные образцы почв.

В заключение хотелось бы подчеркнуть, что химический эксперимент является важнейшим методом развития познавательных компетенций учащихся и в связке с проектной и исследовательской деятельностью способен приносить блестящие результаты в части формирования у учащихся научного мировоззрения и повышения мотивации к изучению предмета, а также дальнейшей специализации в области химии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Федеральный государственный образовательный стандарт среднего общего образования [Электронный ресурс] URL: https://fgos.ru/LMS/wm/wm_fgos.php?id=sred (дата обращения 14.12.2019).
2. Жилин Д.М. Химический эксперимент в российских школах. // Естественнонаучное образование: тенденции развития в России и в мире. Сборник статей. М.: Изд-во МГУ, 2011. – С. 125–149.
3. Заграничная Н.А., Пармутина Л.А., Пентин А.Ю. Научный метод познания в школьном естественнонаучном образовании: обучение химии и биологии // Отечественная и зарубежная педагогика. – 2019. Т. 1. № 1 (57) – С. 6–27.
4. Колясников О.В., Морозова Н.И., Тишкин А.А. О системе организации выполнения исследовательских работ учащихся на кафедре химии СУНЦ МГУ // Исследователь / Researcher. 2019. № 3 (27). – С. 109–114.
5. Колясников О.В., Морозова Н.И., Менделеева Е.А., Сигеев А.С. Система исследовательских работ по химии для биологического класса СУНЦ МГУ // Развитие научно-практического образования в старшей школе: Научно-методический сборник в двух томах. – М.: ООДТП «Исследователь», 2013. Т. 1. – С. 162–164.
6. Ученики СУНЦ МГУ получают возможность пользоваться уникальным университетским оборудованием. Новостной портал МГУ им. М.В. Ломоносова, новость от 04.12.2012 [Электронный ресурс] URL: <https://www.msu.ru/news/>

Естественнонаучное образование: химический эксперимент в высшей и средней школе 161
ucheniki_sunts_mgu_poluchat_vozmozhnost_polzovatsya_unikalnym_universitetskim_ oborudovaniem.html (дата обращения 14.12.2019).

7. Творческие/исследовательские/проектные работы учащихся химико-биологического отделения [Электронный ресурс] URL: <http://internat.msu.ru/structure/chairs/kafedra-himii/tvorcheskie-issledovatel'skie-raboty-po-himii/> (дата обращения 14.12.2019).

8. Портал проектов предпрофессионального образования [Электронный ресурс] URL: <http://profil.mos.ru/> (дата обращения 14.12.2019).

9. *Колясников О.В., Малашихина А.А., Морозова Н.И.* Особенности использования цифровых лабораторий по химии в регулярном преподавании в СУНЦ МГУ и на Летних школах // Использование цифровых средств обучения и робототехники в общем и профессиональном образовании: опыт, проблемы, перспективы. Сборник научных статей II международной научно-практической конференции, Барнаул, 5–6 ноября 2015 г. – Барнаул, изд-во Алтайского Государственного Университета, 2015. – С. 87–90.