
БЫЛОЕ

ЗАРОЖДЕНИЕ ЦЕПИ

© 2019 г. В.В. Птушенко

*НИИ физико-химической биологии им. А.Н. Белозерского
Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия
Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля РАН, Москва, Россия
E-mail: ptush@belozersky.msu.ru*

Поступила в редакцию 04.06.2018 г.
Поступила после доработки 07.07.2018 г.
Принята к публикации 30.07.2018 г.

В статье представлена история формирования школы химической спектроскопии электронного парамагнитного резонанса (ЭПР), созданной академиком В.В. Воеводским, и истории приборной базы этой новой области науки в СССР. Разработка первых ЭПР-спектрометров для химической радиоспектроскопии способствовала появлению нового сектора научного приборостроения в нашей стране. На основе воспоминаний учёных и конструкторов и с использованием архивных материалов автором восстановлена цепь событий, связанных с этими работами, названы их участники.

Ключевые слова: химическая радиоспектроскопия, спектрометры электронного парамагнитного резонанса, научное приборостроение, академик В.В. Воеводский, Институт химической физики АН СССР, Московский физико-технический институт.

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-5873892179-186>

В эпоху, когда производство научного оборудования уже давно носит не штучный, а массовый характер, кажется странным проследить историю конструирования отдельных приборов. Однако в прошлом спектроскопии электронного парамагнитного резонанса (ЭПР) был период, когда серийных приборов ещё не существовало и даже лабораторных установок для такого рода исследований (по крайней мере, в нашей стране) насчитывалось единицы. Открытие в 1944 г. электронного парамагнитного резонанса выдающимся советским физиком Е.К. Завойским, по своему масштабу заслуживавшее (но, к сожалению, так и не удостоенное) Нобелевской премии [1], его значение и перспективы не сразу были осознаны. В СССР на протяжении ряда лет лишь несколько групп занимались задачами ЭПР-спектроскопии [2]. Однако спустя полтора десятилетия после открытия ЭПР интерес к нему резко возрос, что привело буквально к взрывному росту количества работ, в том числе и по созданию

научных приборов и их последующему серийному производству. Представляется интересным и поучительным исследовать "цепные реакции" в развитии научных идей, обусловивших такой взрыв, но это, вероятно, дело будущего. Пока же попробуем проследить лишь за одной из самых первых "цепей", которая и дала начало (большей части, если не всему) серийному производству ЭПР-спектрометров в СССР. Она связана с Институтом химической физики АН СССР (ИХФ) и прежде всего с академиком В.В. Воеводским.

Исследуя проблемы химической кинетики и механизмы цепных химических реакций, Владислав Владиславович пришёл к выводу о необходимости использования в этих областях новых магнитно-резонансных методов — ядерного магнитного резонанса (ЯМР), ЭПР и настойчиво их пропагандировал [3, с. 382—383]. К этому времени некоторый опыт освоения техники ЯМР-спектроскопии в ИХФ уже был, однако лишь в закрытых работах и с совсем другими целями, например, в спецсекторе М.А. Садовского, где на основе ЯМР измерялись магнитные поля в масс-спектрометрах [3, с. 383]. С середины 1954 г. в ИХФ начинаются регулярные открытые обсуждения возможностей методов ЯМР и ЭПР

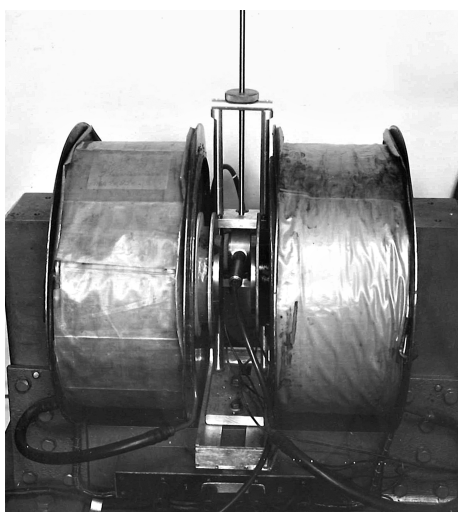
ПТУШЕНКО Василий Витальевич — кандидат физико-математических наук, научный сотрудник НИИ ФХБ им. А.Н. Белозерского МГУ им. М.В. Ломоносова; младший научный сотрудник ИБХФ им. Н.М. Эмануэля РАН.



В.В. Воеводский. Новосибирск. 1962 г.

Из личного архива М.В. Воеводской

в химических исследованиях [4, л. 132–138; 5, л. 32–47]. Тогда же часть сотрудников переводится из закрытых подразделений в открытые, в результате чего в работы вовлекаются специалисты по электронике, измерительной технике, конструированию [3, с. 383]. В нарождающееся научное направление приходят и молодые специалисты, выпускники вузов, среди первых — выпускники химического факультета МГУ



Установка для химической ЯМР-спектроскопии, собранная В.М. Чибрикиным

Из личного архива И.В. Чибрикина [10]

В.М. Чибрикин и Н.Н. Бубнов [6]. Чибрикин поступает в радиотехническую лабораторию Б.К. Шембеля в середине 1954 г. и работает в ней до перевода лаборатории в 1958 г. в НИИ-1011 (ныне — Российский федеральный ядерный центр — ВНИИ технической физики им. академика Е.И. Забабахина), официально перейдя после этого в группу Воеводского [6]. Фактически лаборатория Шембеля и группа Воеводского объединяют усилия по созданию и испытаниям новой магнитно-резонансной техники. 15 апреля 1955 г. в ИХФ создаётся комиссия "для подработки практических мероприятий по развитию парамагнитного резонанса в Институте" в составе В.В. Воеводского (председатель), Н.М. Чиркова, Н.Д. Соколова, М.А. Ельяшевича, Б.К. Шембеля и Д.Г. Кнорре [5, л. 39]. Бубнов поступает в радиоспектроскопическую группу Л.Л. Декабруна в 1955 г. и переводится к Воеводскому в середине 1959 г. уже в новый Институт химической кинетики и горения СО РАН (ИХКиГ), ещё полтора года оставшийся в стенах ИХФ [7].

Работа Чибрикина по химической радиоспектроскопии началась с ЯМР. К июню 1954 г. он, будучи ещё дипломником Шембеля и используя инструментальный производственных мастерских ИХФ, собирает ЯМР-спектрометр, причём стимулом ему служит открытие незадолго до этого, в 1950 г., так называемого химического сдвига, то есть явления зависимости частоты резонансной линии в спектре ЯМР от химической природы исследуемого соединения [8, 9]. Этот ЯМР-спектрометр — в нём были применены низкочастотная модуляция магнитного поля, метод регенеративного детектора — оказался ещё очень несовершенным. Максимальное значение магнитного поля, достигавшееся в зазоре электромагнита, составляло всего лишь 8600 Гс, а резонансные линии протонов наблюдались при полях 1900 и 2940 Гс на частотах 7,6 и 11,8 МГц соответственно [10]. Недостаточные величина и однородность поля не позволяли наблюдать химический сдвиг, и в этом отношении работа не достигла своих целей. Однако можно предположить, что какие-то элементы спектрометра или, по крайней мере, приобретённый лабораторией Шембеля опыт стали основой для самого первого в ИХФ прибора для наблюдения ЭПР.

Прибор был собран Чибрикиным совместно с Бубновым приблизительно в том же 1954 или в следующем 1955 г. Чтобы найти необходимые детали, Шембелю удалось получить пропуска, позволившие Чибрикину с молодыми коллегами ездить по подмосковным "кладбищам" самолётов в поисках радаров (личное сообщение И.В. Чибрикина); чуть позже свалки списанной военной техники станут источником необхо-

димых деталей и для Ю.Д. Цветкова, о работах которого речь пойдёт ниже. Чибрикин и Бубнов регулярно посещают лабораторию будущего нобелевского лауреата А.М. Прохорова в соседнем Физическом институте АН СССР, консультируясь с молодым сотрудником А.А. Маненковым, уже активно занимавшимся к этому времени ЭПР-спектроскопией кристаллов и созданием ЭПР-мазеров. Фактически это был один из самых простых и несовершенных вариантов прибора — с проходным цилиндрическим резонатором и с усилением на основной частоте, то есть без какой-либо высокочастотной модуляции. Довольно быстро выяснилось, что его чувствительности совершенно недостаточно для регистрации радикальных промежуточных продуктов, образующихся в ходе химических реакций.

Примерно в это же время в "поле притяжения" Воеводского попадают студенты Московского физико-технического института (МФТИ) Ю.Д. Цветков и Ю.Н. Молин (оба впоследствии академики РАН). Учебный план 2 курса предусматривал изучение английского языка не только по учебникам, но и самостоятельное чтение студентами статей на английском языке, и, выполняя его, Цветков проштудировал в библиотеке МФТИ заинтересовавшую его статью кого-то из зарубежных классиков ЭПР (возможно, это была статья [11]). А в учебном плане 3 курса значилась лабораторная практика, и в качестве темы для неё Цветков выбрал сборку и наладку ЭПР-спектрометра, убедив своего однокурсника Ю.Н. Молина присоединиться к этой затее. В лабораториях и подсобных помещениях института тогда хранилось немало количество разнообразных физических приборов, уже не нужных или вышедших из строя, а также деталей от них. Так, в каком-то тёмном углу нашёлся огромный "трофейный" магнит весом около 2 т с прямоугольными полюсными наконечниками (около 15 × 20 см размером), предназначенный для работы с камерой Вильсона, но не использовавшийся по назначению. В помещении лабораторного практикума стоял прибор советского производства для измерения диэлектрических потерь в 3-сантиметровом диапазоне длин волн, на котором незадолго до этого те же Цветков и Молин проводили измерения. Однако было решено, что прибор для наблюдения ЭПР будет интереснее для практикума Физтеха, чем установка для измерения диэлектрических потерь, и она была пущена на детали: пошли в ход и резонатор с волноводами, и клистрон, и детектор СВЧ.

Получившийся в итоге такой "компиляции" ЭПР-спектрометр привлёк внимание В.В. Воеводского, который как раз в это время читал



Ю.Н. Молин и Ю.Д. Цветков. Новосибирск, 1962 г.

Источник: Открытый архив СО РАН,
http://www.soran1957.ru/?id=krai_10061611436_2725_0

Предоставлено И.Ю. Павловской

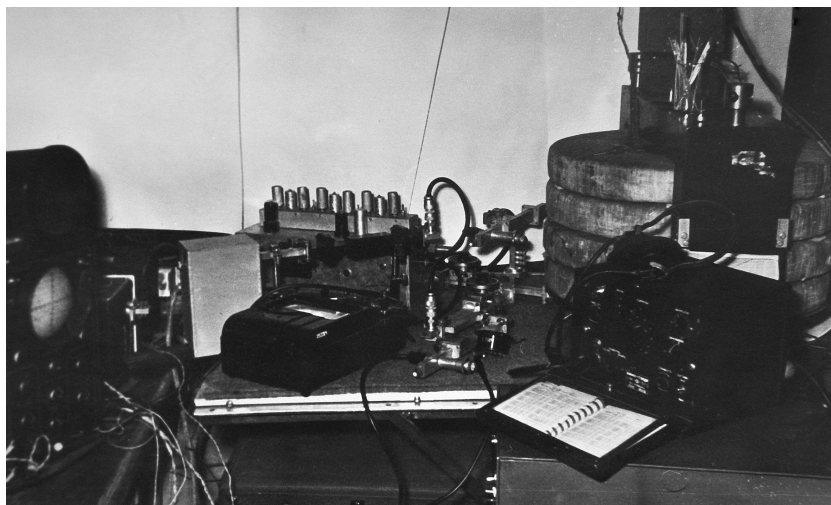
на курсе, где учились Молин с Цветковым, лекции по химической кинетике. Своё восхищение тем, что студенты работают на острие современной науки и сами в студенческих лабораториях создают приборы для работы в новой, ещё только рождающейся области, он разделял с другими преподавателями, и самодельный прибор стал регулярно выполнять представительские функции: Владислав Владиславович водил к нему на экскурсии гостей Физтеха, в их числе даже таких официальных лиц, как министр образования Венгрии. В один из визитов, когда Воеводский привёл в лабораторию группу генералов в сопровождении ректора, генерал-лейтенанта И.Ф. Петрова, случился конфуз: полагая, что генералам нужно показать большой сигнал, Цветков и Молин заполнили всю ампулу углём (именно он обычно использовался в качестве легко доступного образца — источника сигнала ЭПР). И вдруг вместо обычного узкого одиночного пика присутствовавшие увидели два! Не понимая, что могло произойти, создатели спектрометра стояли в растерянности, а Воеводский быстро сформулировал некую теорию, объяснявшую столь необычный спектр, и изложил её генералам. После того, как экскурсия благополучно закончилась, Владислав Владиславович подошёл к двум Юриям с вопросом, что они сделали с образцом. Оказалось, коварную шутку сыграло обилие материала, помещённого в резонатор: длинный (около 20 см) цилиндрический многомодовый резонатор, взятый с установки для измерения диэлектрических потерь, оказавшись за-

полнен парамагнитным образцом вдоль всей оси, да в не слишком однородном магнитном поле, обеспечил разные резонансные условия для разных крупинок угля. Можно бы считать этот анекдотический случай началом ЭПР-томографии, но, увы, — в эпоху, когда ещё только рождалась "обычная" ЭПР-спектроскопия, до ЭПР-томографии было ещё далеко, поэтому решили впредь брать для ЭПР-спектрометров "обычные" резонаторы, а не многомодовые. А прибор Цветкова и Молина, по воспоминаниям сотрудников МФТИ, ещё много лет служил студентам при прохождении практикума [12].

После этого первого конструкторского опыта Воеводский привлекает Цветкова и Молина в Институт химической физики и предлагает им принять участие в создании ЭПР-спектрометра, пригодного для исследования химических процессов. Простейшая модель спектрометра без высокочастотной модуляции, с резонатором, работающим в проходном режиме, уже была собрана Чибрикиным и Бубновым, но необходимой чувствительности не обеспечивала. Повышать её можно было, изменив схему работы резонатора — в отражательном режиме и вводя модуляцию сигнала на высокой частоте, которая обеспечивала бы менее "шумное" детектирование и усиление сигнала. Возможные варианты — модуляция магнитного поля или модуляция СВЧ-излучения. Решили остановиться на модуляции СВЧ с использованием супергетеродинной схемы с разностной частотой 60 МГц. Увы, она себя не оправдала: несмотря на постоянную помощь Шембеля и его сотрудников, использование качественных "трофейных" деталей и возможность выбирать лучшие из отечественных (из двух—трёх десятков закупленных радиоламп отбирали две—три лучшие), прибор, выполненный на основе супергетеродинной схемы, отняв у своих создателей более 2 лет (с сентября 1954 до конца 1956 г.) и оказавшись гораздо более сложным в изготовлении и управлении, позволил достичь увеличения чувствительности по сравнению с первой моделью только в 6 раз [13], то есть гораздо меньше, чем ожидалось. При этом он демонстрировал чрезвычайную чувствительность к помехам: не только троллейбус, проезжавший в 100 м от лаборатории в главном здании ИХФ, но даже чьи-то шаги по коридору — всё вызывало "отклик" прибора, поэтому его создателям приходилось работать преимущественно по ночам.

По-видимому, к концу "супергетеродинной эпопеи" Воеводский осознаёт, что опыта выпускников МФТИ и даже помощи высококлассных специалистов из лаборатории Шембеля недостаточно, нужно ставить работу на более профессиональную основу. Один из сотрудников Шембеля, В.А. Тепляков, рекомендует своего одноклассника А.Г. Семёнова (личное сообщение А.А. Семёновой), хотя и не имеющего учёной степени, однако хорошего специалиста с большим опытом в области радиотехники. Он прошёл всю войну радиомастером, после работал в разных ведомствах, в том числе в НИИ экспериментальной хирургической аппаратуры и инструментов Минздрава СССР, где создал оригинальный прибор для манометрического зондирования сердца, использовавшийся в клинической практике и имевший хорошие отзывы от пользователей [15]. Осенью 1956 г. Семёнов принял предложение перейти в ИХФ в группу Воеводского [16].

Глядя на мучения коллег с супергетеродинным прибором, Семёнов сразу же выбрал схему с высокочастотной модуляцией магнитного поля (тогда наиболее "ходовой" была более высокая частота, 1 МГц, чем принятая теперь 100 кГц). По-видимому, не более чем за год, к осени 1957 г., ему удалось создать работоспособный, помехоустойчивый, пригодный для решения химических задач, то есть обладающий достаточной стабильностью и чувствительностью, ЭПР-спектрометр. Среди технических находок, обеспечивших прибору отличные характеристики, была автоподстройка частоты клистрона по резонансной частоте резонатора вместо использовавшейся ранее стабилизации частоты (что было весьма

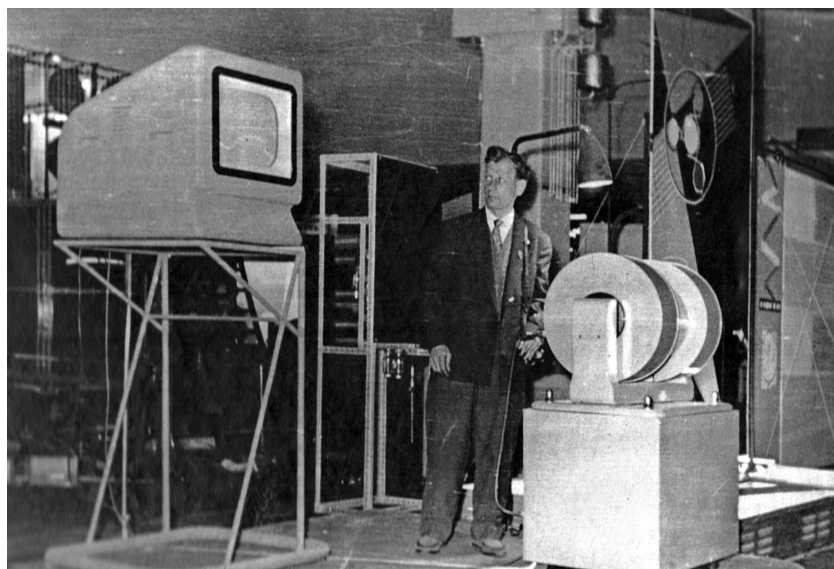


Установка для ЭПР-спектроскопических исследований химических реакций, собранная Ю.Н. Молиным и Ю.Д. Цветковым

Из личного архива Ю.Д. Цветкова [14]

существенно для изучения гетерофазных химических реакций, сопровождающихся изменением частоты резонатора). По-видимому, в ИХФ прибор признали замечательной разработкой, поскольку было решено отправить его на Всемирную выставку в Брюсселе.

Всемирная выставка в Брюсселе 1958 г., или "Экспо-1958", — одно из значимых событий той эпохи. Советский Союз получил приглашение в ней участвовать, что свидетельствовало об ослаблении "железного занавеса", и готовился к ней основательно. Участвовала в подготовке и Академия наук СССР, для чего в 1957 г. был сформирован специальный Научный совет. В ИХФ было отобрано полтора десятка наиболее интересных разработок для представления их в Брюсселе, в том числе масс-спектрометр для определения свободных радикалов в газовых химических реакциях, скоростная фоторегистрирующая установка, модель вакуумной установки для изучения цепных реакций, форкамерный двигатель, ЭПР-спектрометр и др. [17] Кроме подготовки самих приборов готовили стенды, описания, наглядные демонстрации (в помощь институтам президиум Академии наук выделил целые коллективы оформителей и переводчиков на европейские языки). Ответственными за демонстрацию спектрометра ЭПР были назначены В.В. Воеводский (руководитель) и В.М. Чибрикин (исполнитель). Последний представил сценарий мультфильма, который должен был сопровождать демонстрации реальной работы прибора (возможно, в этом участвовал не он один, но конкретных сведений об этом нет).



Ю.Я. Шамонин около созданного им ЭПР-спектрометра на Всемирной выставке в Брюсселе. 1958 г.

Из личного архива И.И. Силкина

К сожалению, у нас нет сведений и о дальнейшей, собственно "выставочной" судьбе ЭПР-спектрометра А.Г. Семёнова. Каких-либо упоминаний об оценке прибора посетителями выставки и даже о самом его присутствии там найти не удалось. Существует мнение, что именно на Всемирной выставке в Брюсселе ЭПР-спектрометр Семёнова, широко известный в дальнейшем как ЭПР-2, получил высокие оценки западных коллег, и этот успех способствовал популярности ЭПР-2 и спросу на него в СССР [18]. Однако, по-видимому, это ошибка, и в действительности похвалы относились к прибору казанского конструктора Ю.Я. Шамонина, о чём упоминается в материалах Научного совета по выставкам АН СССР [19]. При этом на "Экспо-1958" были выставлены также несколько зарубежных спектрометров ЭПР, в частности установка из Великобритании и прибор американской фирмы "Вариан", так что сравнение разных моделей и общение между конструкторами, если бы оно имело место, могло бы стать плодотворным. Однако сам А.Г. Семёнов в Брюссель не ездил. Не ездил он и на Выставку СССР в Нью-Йорке 1959 г. (личное сообщение А.А. Семёновой), хотя о желательности такой поездки шла речь [20]. Как минимум в одной из крупных выставок в 1959–1960 гг. этот прибор участвовал: по рассказу ветерана ИХФ Б.В. Ястребова, он с коллегами паковал ЭПР-спектрометр для отправки на выставку осенью 1959 г.

Тем не менее на родине, и в первую очередь в ИХФ, прибор Семёнова пользовался всё большим спросом. В группе Воеводского (совместно с группой Н.Я. Бубна) прибору находят неожиданное применение: его ставят под пучок электронов ускорителя, который до этого использовался в работах по атомной программе в специально построенном закрытом корпусе ИХФ. Ю.Н. Молин, проводивший эти работы, предлагает смелое решение: просверлить в полюсном наконечнике магнита канал, чтобы вводить электроны вдоль оси наконечников, то есть вдоль линий магнитного поля. Эта схема эксперимента оказывается работоспособной, удаётся получить спектры ЭПР ряда органических соединений непосредственно во время облучения [21]. Здесь нужно упомянуть ещё один (запасной) вариант ввода пучка в магнитное поле, который начали тогда же прорабатывать в группе Н.Я. Бубна по предложению



ЭПР-2

Источник: [24, с. 38]

нию Ю.Н. Молина: применение радиочастотного излучения и соленоида (электромагнита без сердечников) в качестве источника постоянного магнитного поля. Такой электромагнит мог дать не более 0,5 кГс, но его применение оправдывалось сложностями ввода пучка электронов через сердечник. Однако после успеха с установкой прибора Семёнова под пучок ускорителя эту разработку пришлось приостановить.

Приборы конструкции А.Г. Семёнова использовались не только в группе Воеводского. Экспериментальные мастерские ИХФ (по сути, миниавтомат, со своим КБ, группой наладки под руководством В.М. Борцова) изготавливают их для других лабораторий и даже институтов [22, л. 113]. Однако мощности мастерских для обеспечения всё более возрастающего спроса не хватает. Заходит речь о передаче прибора в производство, директор ИХФ академик Н.Н. Семёнов торопит с этим Воеводского [22, л. 17]. Постоянно возникают споры, готов ли прибор к передаче в производство, не "сырой" ли он, насколько вообще его можно считать новой разработкой. На одном из заседаний химической секции учёного совета ИХФ доходит до личных оскорблений, в результате чего Воеводский просит снять заявку о представлении ЭПР-спектрометра на премию президиума АН СССР за 1959 г. [22, л. 113].

Сейчас сложно сказать, насколько в действительности "сырой" была разработка А.Г. Семёнова на тот момент, однако известно, что он продол-

жал вносить в неё всё новые и новые усовершенствования — совершенно оригинальные, даже контактов с другими разработчиками в СССР Семёнов, по-видимому, в тот период не поддерживал. Уже много лет спустя, когда один из коллег Семёнова предложит ему запатентовать какую-то удачную техническую находку, тот ответит: "У меня такие находки — каждый день. Если каждую буду патентовать, то у меня времени работать не останется".

Что же касается В.В. Воеводского, то, хотя позже он очень интенсивно занялся организацией советского научного приборостроения, создав и возглавив ряд курирующих приборостроение организаций в Новосибирске и в АН СССР в целом, эти первые "самодельные" приборы оставались для него любимым детищем. Б.В. Ястребов вспоминает, как Я.С. Лебедев попросил его восстановить один из старых приборов, изготовленных когда-то в лаборатории. На это ушло полгода, но в конце концов сигнал ЭПР появился на экране осциллографа. И в ближайший приезд Воеводского из Новосибирска в Москву ему приготовили сюрприз: «Воеводский здоровается, подходит к прибору и замечает сигнал. "Ах вы!.. Нарисовали?!" — и пальцем проводит по экрану. "Да нет же, Владислав Владиславович, это сигнал!" Как он обрадовался!»

В конце 1959 г. ИХФ передаёт разработку Семёнова в Ленинградское СКБ аналитического приборостроения АН СССР (СКБ АП), головную организацию, стоящую между разработчиками от науки и промышленностью. По воспоминаниям одного из организаторов производства приборов для магнитной радиоспектроскопии Э.И. Федина, взаимодействие разработчиков новой техники с этой орденоносной академической организацией, имевшей большие заслуги в укреплении обороноспособности страны, не всегда бывало простым. Но в данном случае контакт оказался очень удачным, и уже в 1960 г. в своём опытном производстве СКБ АП изготовило для различных институтов и организаций страны 10, в 1961 г. — 15, а в 1962 г. — ещё 10 радиоспектрометров с серийным названием РЭ-1301 [23]. Более того, получив в СКБ АП конструкторскую документацию по всем требующимся для производства стандартам, РЭ-1301 был передан на Смоленский завод средств автоматики и в 1962 г. вышел в серию. Без мелких недочётов не обошлось: так, весной 1960 г. первый же прибор, поступивший в ИХФ в лабораторию М.Б. Неймана, оказался в нерабочем состоянии, как выяснилось, из-за того, что "все блоки и электронные детали внутри него были соединены между собой не по схеме, а как попало — у завода горел план, и было не до таких мелочей, как сборка прибора в соответствии со схемой" [25, с. 247]. Только тер-

пение и мастерство А.Л. Бучаченко, тогда аспиранта М.Б. Неймана, а позднее академика РАН, разобравшего прибор на детали и собравшего его заново, позволило вернуть прибор к жизни [25]. Кроме того, по свидетельству Б.В. Ястребова, многие узлы, тщательно подобранные Семёновым из существовавших на тот момент радиодеталей, были заменены в СКБ АП в целях дешевизны на менее подходящие аналоги.

Тем не менее, по словам многих исследователей, использовавших этот прибор, он оказался вполне удачным и в течение как минимум двух десятилетий проработал в химических лабораториях в СССР (с 1962 по 1976 г. смоленским заводом было выпущено более 500 таких ЭПР-спектрометров [23]). На момент создания прибор способен был составить конкуренцию зарубежным, тогда ещё только появлявшимся аналогам. Это была первая, возможно, самая удачная (по своевременности, соответствию актуальным на тот момент научным задачам, по соотношению возможностей, цены и простоты в управлении), но не последняя модель ЭПР-спектрометра в истории советской промышленности. Позднее появился ряд приборов, спроектированных А.Г. Семёновым уже в СО АН СССР, а также новые поколения приборов, созданных сотрудниками лаборатории Воеводского, оставшимися в Москве (будущая лаборатория Я.С. Лебедева). В мире ЭПР новые "цепи реакций" ответвились от описанной нами, но именно она была одной из первых.

БЛАГОДАРНОСТИ

Автор выражает признательность академикам РАН Ю.Н. Молину и Ю.Д. Цветкову (ИХКиГ СО РАН), чьи воспоминания составили основу этой статьи, а также кандидатам химических наук М.В. Воеводской, А.Б. Гариной (ИБХФ РАН), доктору физико-математических наук Ю.А. Гришину (ИХКиГ СО РАН), академику РАН Д.Г. Кнорре (Институт химической биологии и фундаментальной медицины СО РАН), доктору химических наук А.И. Кокорину (ИХФ РАН), руководителю научно-организационного отдела А.В. Кретиной (Институт аналитического приборостроения РАН), одному из создателей Электронного фотоархива СО РАН И.Ю. Павловской (Институт систем информатики СО РАН), директору музея-лаборатории Е.К. Завойского И.И. Силкину (Казанский (Приволжский) федеральный университет), кандидату исторических наук И.Г. Таракановой (Архив РАН), старшему геофизику И.В. Чибрику и ветерану инженерной службы ИХФ Б.В. Ястребову (ИХФ РАН) за воспоминания и предоставленные материалы.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Завойская Н.Е.* История одного открытия. М.: ООО Группа ИДТ, 2007.
2. *Pushenko V.V., Zavoiskaya N.E.* EPR in the USSR: the thorny path from birth to biological and chemical

- applications // *Photosynthesis Research*. 2017. V. 134(2). P. 133–147.
3. *Дубовицкий Ф.И.* Институт химической физики (очерки истории). Черноголовка: ИХФ, 1992.
4. Архив РАН, ф. 342, оп. 1, д. 142. Протоколы заседаний учёного совета Института химической физики. 1954.
5. Архив РАН, ф. 342, оп. 1, д. 156. Протоколы заседаний учёного совета Института химической физики. 1955.
6. Архив ИХФ, оп. 6, д. 166, л. 20.
7. Архив ИХФ, оп. 6, д. 164, т. 1, л. 44, 50; приказы № 377 и № 396-к по ИХФ АН СССР от 9 августа 1955 г. и 26 июня 1959 г., соответственно.
8. *Proctor W.G., Yu F.C.* The dependence of a nuclear magnetic resonance frequency upon chemical compound // *Physical Review*. 1950. V. 77(5). P. 717.
9. *Dickinson W.C.* Dependence of the F^{19} nuclear resonance position on chemical compound // *Physical Review*. 1950. V. 77(5). P. 736.
10. *Чибрикин В.М.* Методика ядерного магнитного резонанса в химии. Дипломная работа. М.: Химический факультет МГУ, 1954.
11. *Portis A.M.* Electronic structure of F centers: Saturation of the electron spin resonance // *Physical Review*. 1953. V. 91(5). P. 1071.
12. Воспоминания выпускника Физхима. Личный архив М.В. Воеводской.
13. *Молин Ю.Н.* Исследование воздействия ионизирующего излучения на кварц методом электронного парамагнитного резонанса. Дипломная работа. М.: ИХФ, 1957.
14. *Цветков Ю.Д.* Исследование строения некоторых ароматических соединений по сверхтонкой структуре спектра электронного парамагнитного резонанса. Дипломная работа. М.: ИХФ, 1957.
15. Архив ИХФ, оп. 6, д. 165, т. 2, л. 108; характеристика А.Г. Семёнова из НИИЭХАиИ.
16. Архив ИХФ, оп. 6, д. 165, т. 2, л. 103; приказ 529/2 по ИХФ АН СССР.
17. Архив РАН, ф. 342, оп. 1, д. 192. Технические задания к стендам, характеристики экспонатов и др. материалы об участии ИХФ во Всемирной выставке в Брюсселе в 1958 г.
18. *Федин Э.И.* Предводитель без страха и упрёка // Наш Тальрозе. М.: Наука, 2007.
19. Архив РАН, ф. 1509, оп. 1, д. 9, л. 1. Экспозиции по классу "Молекула" на Брюссельской выставке 1958 г.
20. Архив ИХФ, оп. 6, д. 165, т. 2, л. 111; характеристика А.Г. Семёнова для поездки в США.
21. *Молин Ю.Н., Корицкий А.Т., Бубен Н.Я., Воеводский В.В.* Исследование свободных радикалов, образующихся в твёрдых телах в процессе облучения быстрыми электронами // Доклады АН СССР. 1958. № 5. С. 882–883.

22. Архив РАН, ф. 342, оп. 1, д. 205. Протоколы заседаний химической секции Учёного совета Института химической физики. 1958 г.
23. Архив ИАП РАН. СКБ аналитического приборостроения Научно-технического объединения АН СССР, 1950–1983 гг. Л. 151.
24. Блюменфельд Л.А., Воеводский В.В., Семёнов А.Г. Применение электронного парамагнитного резонанса в химии. Новосибирск: Изд-во СО АН СССР, 1962.
25. Лихтенштейн Г.И. Берег этот и тот. Ч. 1. 2000. Рукопись.

CHAIN INITIATION

© 2019 V.V. Ptushenko

*A.N. Belozersky Institute of Physico-Chemical Biology of M.V. Lomonosov Moscow State University,
Moscow, Russia*

N.M. Emanuel Institute of Biochemical Physics, RAS, Moscow, Russia

E-mail: ptush@belozersky.msu.ru

Received: 04.06.2018

Revised version received: 07.07.2018

Accepted: 30.07.2018

This article describes the formation of the chemical electron paramagnetic resonance (EPR) spectroscopy institute established by Academician Vladislav V. Voevodsky (1917–1967) along with the history of the development of the instrumentation basis for this field of science in the Union of Soviet Socialist Republics (USSR). The design of the first EPR spectrometers for the chemical radio spectroscopy initiated the emergence of a new scientific instrumentation field in this country. Based on recollections shared by scientists and engineers and an examination of archive materials, the author reconstructs relevant events and identifies major participants in this process.

Keywords: chemical radio spectroscopy, electron paramagnetic resonance spectrometers, science instrumentation, V.V. Voevodsky, Institute of Chemical Physics of the Academy of Sciences of the USSR, Moscow Institute of Physics and Technology.