

А К А Д Е М И Я Н А У К С С С Р



СЕРИЯ «НАУЧНО-БИОГРАФИЧЕСКАЯ ЛИТЕРАТУРА»

Основана в 1959 году

РЕДКОЛЛЕГИЯ СЕРИИ
И ИСТОРИКО-МЕТОДОЛОГИЧЕСКАЯ КОМИССИЯ
ИНСТИТУТА ИСТОРИИ ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ И ТЕХНИКИ АН СССР
ПО РАЗРАБОТКЕ НАУЧНЫХ БИОГРАФИЙ ДЕЯТЕЛЕЙ
ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ И ТЕХНИКИ:

*А. Т. Григорьян, В. И. Кузнецов,
Б. В. Левшин, С. Р. Микулинский,
Д. В. Ознобишин, Э. К. Соколовская (ученый секретарь),
В. Н. Сокольский, Ю. И. Соловьев,
А. С. Федоров (зам. председателя),
И. А. Федосеев (зам. председателя),
А. П. Юшкевич, А. Л. Яншин (председатель),
М. Г. Ярошевский*

Б. И. Казаков

**Исаак Савельевич
МУСТАФИН**

1908—1968

Ответственный редактор
доктор химических наук
В. И. КУЗНЕЦОВ



МОСКВА
«НАУКА»
1990

ББК 24г

К 14

УДК 54(092) Мустафин «1908/1968»

Рецензенты:

доктор химических наук Ю. А. КЛЯЧКО,
доктор философских наук В. И. МЕТЛОВ,
кандидат химических наук Э. И. ШЕПТУНОВА

Казаков Б. И.

К 14 Исаак Савельевич Мустафин. 1908—1968/Отв.
ред. В. И. Кузнецов.— М.: Наука, 1990.— 128 с. ил.
(Научно-биографическая литература).
ISBN 5-02-005889-0

Книга посвящена жизни и деятельности видного советского химика-аналитика, профессора Саратовского университета И. С. Мустафина. В своих основных трудах, посвященных нефти, ученый высказал и обобщил ряд оригинальных идей, касающихся процессов нефтеобразования и возможности вертикального и горизонтального перемещения нефтяных залежей. В книге освещается и педагогическая деятельность И. С. Мустафина, показывается его отношение к истории науки, которой он отводил большую роль в воспитании человека новой социалистической формации.

Для читателей, интересующихся развитием отечественной науки.

К 1707000000—00757—89—III
054(02)—90

ББК 24г

ISBN 5-02-005889-0

© Издательство «Наука», 1990

От автора

Биография И. С. Мустафина интересна во многих отношениях.

Прежде всего она представляет собой яркий пример решения сложнейшей задачи формирования советской научной интеллигенции, которая встала перед Коммунистической партией и правительством нашей страны вскоре после победы пролетариата в Великой Октябрьской социалистической революции и последовавшей за нею войне против сил реакции и интервенции. Задачу эту буржуазные социологи считали вообще непосильной для молодой Советской Республики, полагая, что и без того немногочисленные кадры старых русских ученых или покинут Россию, или откажутся «сотрудничать с Советами». А о том, что Советская Республика сумеет вырастить — и притом за невиданно короткие сроки научные кадры из народных масс, из среды рабочих и крестьян, буржуазные политики и вовсе не помышляли. Для них вся наша послеоктябрьская страна представлялась «Россией во мгле», утопическим построением большевиков, хотя бы только из-за невозможности иметь собственную интеллигенцию.

Действительность, как известно, опрокинула такого рода прогнозы. Во-первых, из небольшой, но славной «дружины русских ученых», как о ней когда-то говорил Д. И. Менделеев, «сотрудничать с Советами» стали многие университетские профессора Петрограда, Москвы, Киева, Харькова, Казани, Саратова, и в частности такие крупнейшие химики, как А. Н. Бах, Н. Д. Зелинский, А. Е. Фаворский, Н. С. Курнаков, А. Е. Арбузов, Н. Я. Демьянов, В. В. Челинцев. Они охотно согласились участвовать не только в восстановлении народного хозяйства, разрушенного во время гражданской войны, но и в деле обучения молодых людей — выходцев из народа. Во-вторых, одновременно с этим была развернута гигантская по своим масштабам работа, направленная на повышение общего культурного уровня всех народов и народностей нашей великой многонациональной родины, на выявление талантов, способ-

ных решать не только практические, но и сложные теоретические вопросы. Впервые в стране было создано огромное количество общеобразовательных учебных заведений, в которых могли учиться люди всех классов и сословий. Сотни рабфаков приняли в свои аудитории крестьян и рабочих, мечтающих о получении образования. Это была реализация политики поистине открытых дверей в знания, в науку, в культуру. Такого нигде и никогда не было, да и не могло быть до победы пролетарской революции в России.

В настоящей книге на примере биографии советского химика И. С. Мустафина прослежен именно такой путь становления новой интеллигенции страны Советов. Этот путь был необычайно трудным и напряженным: рабочий судоремонтных мастерских стал аспирантом, а затем профессором университетской кафедры. При этом И. С. Мустафин и как рабочий, и как учащийся рабфака, и как молодой ученый был участником всех тех грандиозных мероприятий, которые проводила наша партия и в городе, и в деревне в первые годы социалистического строительства.

Талант И. С. Мустафина и его незаурядные способности к научной деятельности проявлялись в стенах Саратовского государственного университета. И в студенческие годы, и во время учебы в аспирантуре становление молодого ученого представляло собой сложнейший процесс сочетания тяжелого физического и умственного труда, ответственной нелегкой работы и исполнения разносторонних гражданских обязанностей.

Биография И. С. Мустафина интересна и поучительна также и в плане методологии его научной работы. В 30—40-е годы господствующим стилем научных исследований в области естественных наук был классический стиль, который, по определению В. Оствальда, заключался в последовательном углублении того или иного исследователя в проблематику единственного направления средствами одной избранной им науки. Исключением из этого стиля являлось лишь привлечение методов механики для решения физических задач, идей физики для объяснения химических явлений и теорий химии для разгадки процессов *in vivo*. Решение комплексных проблем с одновременным применением средств нескольких наук было делом крайне редким. У Мустафина судьба сложилась несколько иначе. Вна-

чале по инициативе руководителей, а затем уже всецело в русле интересов молодого ученого вся его исследовательская деятельность проходила, как теперь говорят, на стыке разных наук. Первые научные работы И. С. Мустафина были посвящены биогеохимии, основателем которой в принципе следует считать В. И. Вернадского. Однако Мустафин изучал принципиально новые аспекты биогеохимии, причем такими методами, которые не были известны до него. Он исследовал причины осерненности нефтей многих месторождений и с помощью выведенных им кривых приуроченности мировых запасов горючих ископаемых к различным геологическим временам обосновал свои выводы о процессах нефтеобразования и о возможностях вертикального и горизонтального перемещения нефтяных пластов. Сейчас эти данные приводятся во многих монографиях, посвященных вопросам происхождения нефти.

С успехом решил И. С. Мустафин и задачу определения состава и строения химических соединений и их смесей, привлекая для этого средства физики, классической органической химии и ее явно неклассического продолжения, связанного с образованием металлокомплексных соединений.

Оригинальные работы И. С. Мустафина существенно обогатили аналитическую химию. В его лаборатории были синтезированы и опробованы многие органические реактивы, методы и способы определения самых различных соединений, которые в настоящее время широко применяются химиками в практической и научной деятельности. Кафедра аналитической химии Саратовского университета, которую возглавлял профессор И. С. Мустафин, стала одним из ведущих аналитических центров нашей страны. Профессор И. С. Мустафин сумел завоевать признание и авторитет в широких кругах советских и зарубежных химиков. Среди его работ имеются теоретические труды по вопросам химии органических реактивов, по методам обнаружения и количественному анализу, работы по созданию новых титриметрических индикаторов, но главное — расчеты и обоснование пределов чувствительности реактивов.

В области чувствительности реактивов И. С. Мустафин был своеобразным законодателем. Об этом свидетельствует, в частности, его выступление на VIII Менделеевском съезде в Москве в 1959 г., когда он, став

инициатором интереснейшей дискуссии между советскими и зарубежными учеными, сумел доказать истинность своих выводов даже таким оппонентам, как прославленная Ида Ноддак.

И. С. Мустафин был незаурядным историком химии. Так же как и некоторые его учителя, в частности В. В. Челинцев, он не представлял себе изложение курса химии без освещения способов получения научных данных. Он автор «Очерков по истории химии» [1, 183], а также ряда историографических исследований.

Автор выражает признательность всем, кто принимал участие в подготовке материалов для этой книги, поделился своими воспоминаниями о И. С. Мустафине, и в первую очередь профессорам В. П. Храмову, Д. В. Вадивасову, В. Г. Харченко, Р. К. Черновой, С. П. Муштаковой, доцентам О. В. Сивановой, В. А. Артисевич, А. Г. Ковалевой.

Глава первая

Жизненный путь

3 сентября (20 августа) 1908 г. в глухом татарском селе Верхний Урледин Рузаевского уезда Пензенской губернии родился мальчик, которого назвали Исхаком¹. Его родители, Салех Усманович и Аминя Сейфутдиновна Мустафины, татары по национальности, до революции жили в большой нужде и постоянной тревоге за завтрашний день. Концы с концами в хозяйстве Мустафиных не сходились, поэтому время от времени отец нанимался батраком к местным богачам, а начиная с 1904 г. ежегодно в зимние месяцы уходил на заработки в Саратов. В этом большом губернском городе он трудился в затоне на ремонте речных судов. К весне, когда работы в затоне заканчивались, Салех Усманович возвращался к семье.

Тяга к родному дому, который он вынужден был покидать, все более возрастала по мере того, как его первенец-сын становился шустрым и любознательным мальчиком, с нетерпением ожидавшим возвращения отца. Исхак очень любил слушать рассказы отца о какой-то очень большой реке Волге, о том, каким шумным и праздничным становится город при встрече Нового года. Сотни вопросов задавал он своему отцу, а тот часами мог рассказывать сыну о том, что видел и знал. Но к осени вновь предстояла разлука, и начинались мучительные ожидания. Когда же этому будет конец? Этот вопрос волновал и отца, и мать, и сына.

¹ Согласно метрической записи и в соответствии с правильной национальной транскрипцией мальчик должен был иметь имя и отчество — Исхак Салехович. Но позднее в силу обстоятельств, о которых будет рассказано, он получил русифицированное имя и отчество — Исаак Савельевич, оставшееся за ним и в общении с окружающими, и в личных документах, и, наконец, в научных трудах. Это имя и отчество автор сохраняет и в настоящей книге за исключением описания его детства, когда мальчика повсюду называли так, как нарекли с рождения, — Исхак.

Почему к материальной нужде прибавляется еще и разлука?

Отец иногда сообщал и обнадеживающие сведения. Он рассказывал об объединении рабочих, задумавших коренным образом улучшить жизнь. В одном из разговоров отец поведал Исхаку о том, кто виноват в неустроенности сельской жизни, когда одни крестьяне нищают, другие — богатеют. По словам отца, такое же разъединение людей происходило и в Саратове, и во всей стране. Но Исхаку до поры до времени рассуждения отца о классовых различиях между людьми казались неясными, а великие цели саратовских рабочих — просто мечтой. Когда же ему исполнилось девять лет, он услышал, как в деревне все заговорили о произошедшей в России революции.

Отец верил, что революция повернет к лучшему всю жизнь и в городе, и в деревне. На первых порах ему казалось, что вскоре не нужно будет ездить на заработки — жизнь наладится и в деревне. Но к 1917 г. семья Мустафиных увеличилась: появились еще три сына и дочь, а материальное положение семьи по-прежнему оставляло желать лучшего. Правда, к этому времени Салеха Мустафина считали в Саратове уже кадровым рабочим судоремонтных мастерских. Это и предопределило дальнейшую судьбу семьи: весной 1918 г. Мустафины переехали в Саратов на постоянное жительство. И уже в мае того же года Салех Усманович стал рабочим не частного, а государственного советского пароходства.

Вскоре бывший безземельный крестьянин стал не только активным участником, но и одним из организаторов первых субботников. Дети гордились своим отцом, которого неоднократно награждали почетными грамотами и отмечали как передовика производства.

Отцу, конечно, очень хотелось дать детям образование, вывести их в люди. Сам Салех Усманович грамотой овладел самостоятельно: в условиях царской России дети татарских бедняков не могли даже и мечтать о получении образования. Теперь же Салех Усманович с радостью определил своих сыновей и дочь в школу.

Учиться в русской школе Исхаку вначале было нелегко: русского языка мальчик почти не знал и это в первое время вызывало обидные насмешки со стороны школьников. И все же Исхак учился радостно и с



Семья Мустафиных. Салех Усманович, Аминя Сейфутдиновна и их дети Исхак, Хамзя, Фатима

интересом — ведь школа для него была самым желанным местом, о котором он мечтал с раннего детства, а попасть в нее смог, лишь когда ему исполнилось десять лет.

Вскоре у Исхака, веселого и общительного, быстро освоившего русский язык, появилось много школьных друзей, главным образом из таких же, как и он, рабочих семей. Вместе с ними, не оставляя учебы, Исхак время от времени «подрабатывал». Это было необходимо, во-первых, по долгу старшего сына, который по мере сил стремился оказать хоть какую-то материальную помощь семье, а во-вторых, потому, что он тогда сильно голодал. Как известно, охвативший в начале 20-х годов Поволжье голод стал для всего населения Саратовской губернии всеобщим бедствием, о котором знал весь мир.

Когда Исхаку исполнилось 11 лет, он начал посещать мастерские затона, где работал его отец. Пока мальчик только присматривал для себя рабочее место, но уже в 1920 г. он был принят туда на постоянную работу котлочистом. Однако и на этот раз он не оставил учебу.

Труд котлочиста был не только чрезвычайно тяжелым, но и опасным: не так-то просто было отбивать

накипь в узких котлах и трубах. Эту работу могли выполнять только дети, так как в узкое пространство котлов и труб взрослые забраться не могли. Задыхаясь в трубе, Исхак оглушал себя ударами по железу в течение целого рабочего дня. Несмотря на всю тяжесть этой работы, мальчик не просто осознавал ее необходимость, но и был доволен, что справляется с нею и тем самым приобщается к рабочей среде.

В 1921 г. Исхака перевели в монтажный цех судоремонтного завода, где он овладел новой рабочей профессией — клепальщика. Здесь же работал его брат Хамзя.

Вскоре братья Мустафины стали лучшими клепальщиками Саратовского затона. Профессия эта была в то время весьма почетной и важной: сварка еще не вошла в производство. К этому времени Исхака все чаще и чаще называют более распространенным и привычным именем — Исаак, а его отца — Савелием.

В 1921 г. Исаак закончил начальную школу, а спустя два года поступил в открывшуюся в 1922 г. недалеко от затона четырехлетнюю школу судомеханических специальностей. Теоретические занятия в школе вели крупные инженеры старой школы, практические — высококвалифицированные рабочие.

В своей группе, в основном состоящей из русских ребят, И. Мустафин был единственным татариним. Но в школе он уже не чувствовал национальной отчужденности и, может быть, именно здесь впервые осознал, что национальная рознь и проявление шовинизма чужды рабочему человеку. Веселый нрав, общительность и очень заметное трудолюбие Исаака обратили на себя внимание, и его выбрали старостой группы. Заниматься приходилось без выходных дней, причем не только в классах: большую часть времени учащиеся школы проводили непосредственно в цехах судоремонтных мастерских. Более того, в летнее время они выезжали в прибрежные села помогать крестьянам в сельхозработах. Одновременно они постигали начала военного дела, и в частности приемы химической защиты. Именно в школьном кружке Осоавиахима будущий инженер-капитан И. С. Мустафин впервые взял в руки винтовку и противогаз, ознакомился с их устройством, приобрел начальные знания по противохимической защите. Тогда и обратил внимание Исаак Мустафин на новый для него предмет — химию.



Кочегар И. Мустафин (в тельняшке) среди рабочих Саратовского залива, 1927 г.

Пытливого юношу прежде всего интересовало, почему меняется прочность стали после закалки, чем отличаются друг от друга различные масла, каким образом одна краска держится на поверхности судов долго, а другую приходится заменять очень часто. Такими вопросами он часто «донимал» своих учителей. Однако только преподаватель химии давал на них толковые ответы. В итоге Исаак понял, что химия является властелином всего материального мира. Он стал сам очень много читать, заниматься и нередко засиживался с учебником по химии до поздней ночи.

В школе судомеханических специальностей Исаак Мустафин подружился с рабочим пареньком Димой Вадивасовым (впоследствии доктором технических наук, ректором Саратовского института механизации сельского хозяйства). Эта дружба явилась новым стимулом к овладению знаниями. Возникло своего рода соревнование в освоении естественных наук, в особенности химии. Увлеченные химией, они читали в рабочих общежитиях лекции, посвященные этой науке будущего, показывали любопытные химические опыты и рассказывали о тех чудесах, которые в скором времени сможет творить человек.

И все это происходило в атмосфере революционных преобразований в общественной жизни города и дерев-

ни, которая была столь характерна для 20-х годов. Стремление молодежи к знаниям было в то время частью единого процесса — построения нового общества. Поэтому неудивительно, что друзья, чья повседневная жизнь была органично связана с работой на производстве и учебой, решили стать комсомольцами. Подав заявление в ячейку школы, Исаак Мустафин и Дмитрий Вадивасов в январе 1925 г. были приняты в комсомол и стали активными участниками всех его мероприятий.

По окончании школы судомеханических специальностей И. Мустафин вернулся на судоремонтный завод. Теперь он уже работал слесарем-наладчиком. Это было непростое по тем временам дело: обслуживать приходилось изношенные до предела тихоходные суда, принадлежащие ранее акционерному обществу «Мазут». Нередко Исаак ремонтировал пароходы не только в затоне, но и на плаву, причем ходил в рейсы в качестве и масленщика, и кочегара.

Дома его ждали младшие братья. Исааку приходилось присматривать за подрастающим поколением. Особого внимания требовал средний брат Ибрай, интересовавшийся физикой. Подолгу сидели братья над книгами, посвященными радиотехнике. В те годы советская радиопромышленность еще только зарождалась и радиоприемники были большой редкостью. В течение месяца братья разбирались в схемах и конструкциях и в конце концов собрали небольшой радиоприемник. Сколько радости было у мальчишек, когда у себя дома в Саратове они услышали голос Москвы. Информация, передаваемая по радио, постепенно становилась привычным и по-своему необходимым элементом жизни всей семьи Мустафиных. Именно из радиосводок Исаак Мустафин узнал о рабочих факультетах, создаваемых по инициативе коммунистов Московского коммерческого института (ныне Институт народного хозяйства им. В. Г. Плеханова) при многих университетах и институтах. Рабфаки играли большую роль в формировании кадров советской интеллигенции.

В 1928 г. в Саратове был организован рабфак им. В. И. Ленина с дневным трехгодичным и вечерним четырехгодичным сроком обучения. Исаак Мустафин и Дима Вадивасов стали первыми слушателями рабочего факультета, на вечернее отделение которого они поступили без отрыва от производства уже в том же 1928 г.



Рабфаковец И. Мустафин



**Парторг тракторной бригады Новоузенской МТС И. С. Мустафин
(крайний слева)**

Учиться по вечерам на рабфаке и работать на судоремонтном заводе было нелегко. Кроме того, Крайсовпроф мобилизовал И. Мустафина как квалифицированного слесаря для оказания помощи рабочим механического и чугунолитейного завода «Сотрудник революции» (ранее завод О. Беринга, ныне — «Серп и молот»). Рабочий день юноши стал еще длиннее. И. Мустафин в 6 часов утра начинал работу на судоремонтном заводе, а заканчивал ее в 6—7 часов вечера уже на заводе «Сотрудник революции». А потом начиналась не менее напряженная учеба. Но, несмотря на усталость и загруженность, И. Мустафин за время учебы на рабфаке не пропустил ни одной лекции, ни одного практикума. И не потому, что боялся выговоров и низких отметок, а потому что учиться было необыкновенно радостно и весь учебный материал воспринимал он с захватывающим интересом.

15 января 1931 г. в жизни И. С. Мустафина произошло радостное и торжественное событие. Рабочий паренек Саратовского затона, Исаак Мустафин, стал членом коммунистической партии большевиков. В том же году И. Мустафин окончил рабфак и поступил на химический факультет Саратовского университета им. Н. Г. Чернышевского. И здесь он учился легко, вдохновенно и вскоре уже успешно занимался исследовательской работой.

С первых дней пребывания в университете молодой коммунист Исаак Мустафин активно включился и в общественную деятельность. Партийная организация поручила ему по существу одновременно два ответственных задания. Во-первых, он был утвержден пропагандистом на саратовских лесопильных заводах, где должен был едва ли не ежедневно проводить беседы с рабочими по текущей политике. Во-вторых, ему поручили организовать работу по ликвидации безграмотности в одном из районов Саратова — начиная от выявления неграмотных и прикрепления к ним для обучения комсомольцев и коммунистов и кончая контролем за готовыми результатами — выборочной проверкой овладевших грамотой. Спустя год на Исаака Мустафина были возложены несравненно более трудные и ответственные поручения, связанные с «социалистической перестройкой села».

Начало 30-х годов. Только что завершилась так называемая «всеобщая коллективизация». Крайне

слабым, наспех сколоченным колхозам был спущен жесткий план поставок сельхозпродукции. Но деревня, лишившись в результате «раскулачивания» едва ли не трети крестьянских дворов, не могла его выполнить, и тогда «в помощь селу» были посланы коммунисты и комсомольцы города. В 1932 г. Саратовский крайком ВКП(б) откомандировал студента-коммуниста И. Мустафина в Приволжский улус Калмыцкой области, а весной 1933 г. он вместе с группой студентов по заданию того же крайкома выехал в Новоузенский район для оказания помощи в деле организации МТС. Район этот был тогда не только отдаленным, но и крайне неустроенным, лишенным дорог и элементарных связей с Саратовом. Студенты, добравшись до места по снегу на верблюдах, в течение нескольких месяцев жили в шалашах и палатках, спали на соломе. Они голодали, однако мирились с неудобствами и делали свое дело. Руководил работой И. Мустафин, назначенный бригадиром студентов-коммунистов [III, 19].

Молодые коммунисты, посланные на село, заменили штатных работников МТС. На их плечи легли обязанности и по ремонту тракторов, и по обработке семян химикатами. Нередко горожанам самим приходилось участвовать в сельскохозяйственных работах. По словам Мустафина, «было мучительно трудно справиться с этими сложными задачами». Сам Мустафин не только руководил посланцами из города, но и был парторгом тракторной бригады МТС.

Крайком партии признал работу студенческого отряда «полезной в практическом отношении для дела механизации сельхозработ Новоузенского района». Мустафин был даже премирован собранием сочинений В. И. Ленина.

По возвращении в Саратов Мустафин и его товарищи сразу же включились в учебный процесс. Работали без отдыха и выходных дней, чтобы наверстать пропущенное, отработать лабораторный практикум по аналитической химии, подготовиться к сдаче зачетов и экзаменов по физике и органической химии. По существу, надо было экстерном сдать экзамены за второй и третий семестры университетской программы. Невероятным напряжением сил Мустафин сдал все зачеты и экзамены, причем с отличными отметками.

Следует отметить, что студентам химического факультета Саратовского университета в 30-е годы уди-

вительно повезло с преподавателями. В эти годы владельцем умов студентов-химиков был заведующий кафедрой органической химии профессор Владимир Васильевич Челинцев (1877—1947), заслуженный деятель науки РСФСР, член-корреспондент Академии наук СССР (с 1933 г.). Он был широко известен своими работами в области химии металлоорганических и гетероциклических соединений. Еще в 1904—1906 гг. он установил каталитическую роль эфирной среды в универсальных методах магнийорганического синтеза и открыл новые способы синтеза посредством индивидуальных магнийорганических соединений. На своих лекциях В. В. Челинцев любил говорить о смысле и сути научного поиска, старался привить студентам интерес к самостоятельной исследовательской работе, приучал излагать материал осознанно, глубоко продуманно — не в качестве голых выводов, а в сочетании с описанием тех экспериментальных и теоретических шагов, которые привели к этим выводам. За каждой структурной формулой органического соединения, синтез которого он описывал, стояла определенная личность ученого, установившего строение и свойства данного соединения. Весь материал органической химии В. В. Челинцев излагал таким образом, что он представлялся слушателям в виде строящегося здания. Рядом с успехом в изучении сложных органических веществ оставалась масса еще не решенных вопросов. Это вызывало у студентов естественное желание попытаться найти на них ответы.

И. Мустафин неожиданно для себя обнаружил, что у него появилась потребность включиться в решение такого рода вопросов. Мы говорим «неожиданно для себя» отнюдь не случайно. Дело в том, что в 30-е годы — годы индустриализации страны — молодежь была захвачена стремлением работать на промышленных предприятиях. Слова «энергетический», «индустриальный», «политехнический» были самыми популярными при разговорах о будущей деятельности. Мустафин не был исключением. Придя на учебу с производства, он имел твердое намерение вернуться к практической деятельности, но уже в качестве инженера-химика. Учеба же в университете, приобщение к исследовательской работе, приобретение все новых знаний постепенно вылились в тягу к научной деятельности, в желание серьезно заняться исследовательской работой.

На втором и третьем курсах университета, пожалуй, главным образом под влиянием лекций В. В. Челинцева он наметил в качестве своей будущей специальности органическую химию. И профессор В. В. Челинцев был бы, вероятно, рад приобщить Мустафина к работам на своей кафедре. У автора этих строк есть на этот счет определенные сведения, полученные от самого В. В. Челинцева. Но Мустафина привлекала и физическая химия, лекции по которой читал профессор Н. А. Шлезингер, ученик Н. Д. Зелинского.

Среди студентов химического факультета И. Мустафин выделялся своей необычной пытливостью и добросовестностью, умением сосредоточиться на рассматриваемом вопросе. Заведующий кафедрой неорганической химии профессор Я. Я. Додонов, который был учеником Я. Г. Вант-Гоффа и некоторое время даже работал под его руководством, вспоминал, что буквально каждый профессор химфака останавливал свое внимание на И. Мустафине, считая, что этот студент увлечен именно его предметом.

Но судьбой человека распоряжается не только необходимость в философском смысле этого слова. Под необходимостью в данном случае можно понимать влечение И. Мустафина к исследовательской работе и те его качества, которые позволяли ему стать ученым. Судьбой человека распоряжается также еще случайность как проявление и дополнение необходимости. И этой случайностью (которую, кстати, можно считать счастливой) явилось то, что уже на четвертом курсе университета И. Мустафин был привлечен к научной работе в области органической химии. Только руководителем его оказался не В. В. Челинцев, а профессор Н. А. Орлов.

В 1934 г. ректор Саратовского университета Г. К. Хворостин, стремясь усилить кадры профессорско-преподавательского состава университета, пригласил для работы на некоторых кафедрах крупных ученых из других городов нашей страны. Среди них был ленинградский профессор Николай Александрович Орлов — талантливый ученик В. Н. Ипатьева, крупнейшего специалиста в области катализа. Н. А. Орлов быстро оценил активность и организованность И. Мустафина на занятиях. Он был просто поражен глубиной и основательностью его знаний по университетскому курсу и прекрасной осведомленностью в тех вопросах, кото-

рым были посвящены научные труды самого Орлова. В итоге профессор привлек И. Мустафина к серьезной исследовательской работе, поручив ему заниматься изучением меллитовой кислоты.

В 1936 г. И. Мустафин окончил университет, а вскоре в центральном журнале «Химия твердого топлива» появилась его первая научная работа [1, 1]. Выполненная еще в студенческие годы и посвященная меллитовой кислоте, она отличалась особой тщательностью экспериментов и глубиной их теоретической интерпретации.

Первая научная работа И. С. Мустафина открыла ему дорогу в удивительный мир химии и в большую науку. Учитывая значительные научные успехи выпускника, его трудолюбие и активную общественную деятельность, руководство химического факультета университета рекомендовало Исаака Мустафина в аспирантуру на кафедру органической химии. Вскоре он под руководством профессора Н. А. Орлова приступил к выполнению диссертационной темы, связанной с изучением все той же меллитовой кислоты и ее роли в процессах окислительной деструкции полиядерных ароматических углеводородов.

На протяжении всей жизни И. С. Мустафин сохранил к своему первому научному руководителю чувство глубокого уважения, преданности и преклонения. Действительно, профессор Н. А. Орлов был незаурядным человеком и выдающимся ученым. Родился он в 1895 г. в семье генерала царской армии, в 1922 г. блестяще окончил Петербургский университет, опубликовал ряд статей и монографий по химии угля, его работы неоднократно отмечались премией им. Бутлерова, присуждаемой Российским физико-химическим обществом, и наградами Академии наук и были высоко оценены отечественными и зарубежными химиками.

Н. А. Орлов принял Октябрьскую революцию и успешно трудился на пользу социалистического отечества. В начале 30-х годов он возглавлял Всесоюзный углехимический институт в Харькове, а затем работал в Ленинградском университете и Ленинградском технологическом институте, одновременно участвуя в реализации важных народнохозяйственных проблем. По инициативе С. Орджоникидзе профессор Н. А. Орлов был привлечен к разработке вопроса о получении бензинов из кузнецких сапропелитов.



И. С. Мустафин (второй слева) среди сотрудников кафедры аналитической химии Саратовского государственного университета

После убийства С. М. Кирова в Ленинграде началась «суровая чистка» интеллигенции. В 1934 г. Н. А. Орлов разделил судьбу многих известных деятелей науки и искусства тех лет, вместе с выдающимся ленинградским профессором-химиком Б. Н. Никольским он был выслан в Саратов. Талантливый ученый и энергичный человек, Н. А. Орлов сумел быстро освоиться в новом городе: он плодотворно работал на кафедре органической химии Саратовского университета, читал блестящие лекции на кафедре химии в Медицинском институте, с большим успехом выступал с пропагандой химических знаний перед работниками промышленных предприятий и вузов города. Одновременно Н. А. Орлов являлся профессором-консультантом Саратовского крекинг-завода. Летом 1937 г. из-за несоблюдения ряда технологических норм на заводе произошел взрыв. И хотя Н. А. Орлов являлся только консультантом завода и достаточно редко бывал на его территории, но и он, как человек «политически ненадежный», опубликовавший большую часть своих науч-

ных работ в зарубежных изданиях, был в августе 1937 г. арестован, осужден как враг народа и вскоре расстрелян.

Родственников и знакомых Н. А. Орлова ждали большие несчастья. Была репрессирована и погибла в тюрьме жена Н. А. Орлова, спустя несколько лет умер в детском доме двенадцатилетний сын. Репрессии обрушились и на учеников Н. А. Орлова, и в первую очередь наиболее талантливого и энергичного И. Мустафина. Газета «Сталинец» 7 октября 1937 г. писала об аспирантах Н. А. Орлова — коммунистах Мустафине, Шалыгине, комсомольцах Соколове и Рудченко: «Они, пораженные идиотской болезнью — политической беспечностью... слепо доверились диверсанту Орлову. В погоне за научными трудами коммунисты Шалыгин и Мустафин стали на беспринципный путь подхалимства и печатали с Орловым совместные работы. (Кстати, по рекомендации академика Н. Д. Зелинского.— *Б. К.*) Вместе с Хворостинным (ректором Саратовского университета, тоже „врагом народа“.— *Б. К.*) они рекламировали Орлова как крупного специалиста, за что получили клички „Орловские рысаки“... Мустафин начал возить Орлову продукты на дачу и забавлять его сына, клеить ему змея, чинить игрушки и т. д., и т. п.» (Действительно, лето 1937 г. Исаак Мустафин провел на даче Николая Александровича, работая над рукописью, посвященной физико-химическому исследованию меллитовой кислоты. Постоянное общение сблизило учителя и ученика. Подолгу засиживались они над обработкой экспериментального материала, предлагая и отвергая новые гипотезы, оттачивая выводы и рекомендации.)

И. Мустафин был упомянут во всех октябрьских публикациях в газете «Сталинец» по делу Н. А. Орлова. Его обвиняли в карьеризме, подхалимстве, пособничестве, склоняли на митингах и собраниях. Но Исаак Мустафин не предал своего научного руководителя. Даже после расстрела Н. А. Орлова он продолжал его защищать, сознавая, что это бессмысленно. 14 октября 1937 г. газета «Сталинец» писала: «В то время, когда парторганизация в течение двух лет вела решительную борьбу с вредительскими мероприятиями Хворостина, разоблачая его как врага народа, Мустафин в лучшем случае отмалчивался, а иногда выступал с прямой защитой его действий. Предупреждений было более чем

достаточно. Эти факты учат нас многому. Мустафин должен получить по заслугам».

Вскоре университетские коммунисты приняли решение об исключении И. С. Мустафина из рядов ВКП(б). Новый 1938 год И. С. Мустафин встретил в ожидании ареста, однако в начале года вышло решение пленума ВКП(б) «Об ошибках парторганизаций при исключении из партии, о формально-бюрократическом отношении к апелляциям исключенных из ВКП(б) и о мерах по устранению этих недостатков». В соответствии с решениями пленума районный комитет партии не утвердил решение парткома Саратовского университета об исключении И. С. Мустафина из членов ВКП(б). В передовой статье газета «Сталинец» от 8 февраля 1938 г. писала: «Парторганизация отменила как неправильное свое решение об исключении из партии Мустафина». Редакция газеты самообвинила себя в том, что «выпускала некоторые материалы без необходимой проверки, целый ряд фактов дала в искаженном виде, не выступала против несправедливых исключений из партийной и комсомольской организаций в университете».

Собравшись с духом после всех этих многочисленных разбирательств и чисток, аспирант И. Мустафин продолжил исследования меллитовой кислоты по теме диссертационной работы. В 1940 г. эксперимент был успешно завершен, диссертация написана, обсуждена на заседании кафедры и рекомендована к защите. Однако защита задерживалась в связи с реорганизацией ученого совета. И. С. Мустафин приступил к преподавательской работе. Однако в середине 1941 г. преподавательскую работу и все дальнейшие исследования пришлось отложить на неопределенный срок. Началась Великая Отечественная война.

26 июня 1941 г. в университете прошло общее собрание, на котором профессора, преподаватели и студенты единодушно выразили готовность отдать все силы, а если понадобится, и жизнь делу защиты Родины [II, 1, с. 4].

Исаак Савельевич Мустафин на общем собрании не присутствовал. В его трудовой книжке запись об отбытии «для прохождения военного сбора» помечена 23 июня. Провожала его вся кафедра аналитической химии, куда он был зачислен ассистентом по завершении аспирантуры. Вслед за И. С. Мустафиным на фронт



Политрук И. С. Мустафин

ушел почти весь мужской контингент кафедры.

24 июня И. С. Мустафин прибыл в свою воинскую часть. Здесь его назначили политруком первой роты отдельного специального батальона химической защиты 21-й армии Западного фронта. Как известно, летом и осенью 1941 г. боевые действия складывались неблагоприятно. Фашистская армия рвалась к Москве. 21-я армия занимала район обороны западнее Гомеля. Однако в августе 1941 г. после тяжелых боев в районе треугольника Жлобин — Рогачев — Гомель, первых боев в окружении против-

ника, советским войскам пришлось оставить и эти города.

Так уж получилось, что воинская часть, в которой служил И. С. Мустафин, в течение войны двигалась по всему фронту — от средней полосы России до Кавказа (в зависимости от обстановки, складывающейся в ходе боев). За четыре года политруку роты И. С. Мустафину довелось испытать всю тяжесть военной жизни, но его никогда не покидала вера в победу и убежденность в том, что вскоре наступит день, когда в университетских лабораториях и аудиториях продолжатся научная работа и творческий поиск. Поэтому неудивительно, что И. С. Мустафин пронес по дорогам войны свой лабораторный дневник. В нем наряду с последними данными довоенных исследований меллитовой кислоты имелись записки его новых идей, сделанные во время недолгих фронтовых привалов. И. Мустафин не переставал думать о том, как после победы он вернется в родной университет для того, чтобы продолжить начатое любимое дело.

Война шла к своему победоносному концу. Часть специального назначения, в которой служил И. С. Мустафин, в мае 1945 г. была переброшена в Кинешму.



Фронтовики вернулись на химфак. Слева направо: И. С. Мустафин, А. В. Фортунатов, И. П. Рязанов, А. А. Пономарев

Здесь в августе 1945 г. Исаак Савельевич Мустафин демобилизовался в звании инженер-капитана.

Колоссальные бедствия принесла война народам СССР. Неисчислимы были людские потери: не было ни одной семьи в многомиллионном населении Родины, в которой не скорбели бы об утратах близких. Большое семейное горе пришло и в семью Исаака Савельевича. В 1944 г. скончался Савелий Усманович Мустафин. Под Ленинградом погиб брат Ибрагим. Младшая сестра Фатима, студентка Медицинского института, добровольно ушедшая на фронт в первые дни войны и участвовавшая в Сталинградской битве, дошла до Берлина, став командиром медсанбата. Но и она погибла в апреле 1945 г., за несколько дней до победы.

Очень многие друзья И. С. Мустафина и его товарищи по работе не вернулись с фронта. О подвиге солдат с университетским ромбиком в петлице рассказывают экспонаты музея боевой славы Саратовского университета, их имена увековечены на обелиске, который возвышается в университетском городке.

В сентябре 1945 г. И. С. Мустафин возвратился в Саратов и приступил к работе в университете. За годы войны Саратовский университет существенно изменился. Почернели стены его некогда светлых монументальных корпусов. Потускнели окна. Отсутствие каких бы

то ни было косметических и ремонтных работ сказалось и на его интерьере. Отопительная система была неисправной, к тому же недоставало и топлива. Аудитории, лаборатории и иные учебные помещения с приближением пасмурных дней и осенней погоды оказались во власти холода. Совсем без топлива остались студенческие общежития.

В этой связи на долю И. С. Мустафина выпала масса организационных и хозяйственных забот. Молодой преподаватель не мог оставаться в стороне от решения задач по налаживанию нормальной работы и учебы в стенах университета и улучшению жизни студентов в общежитиях. По его инициативе проводились субботники с привлечением к ремонтным работам и к уборке помещений как студентов, так и преподавателей. Проявил он инициативу и в деле ликвидации «топливного кризиса».

Заслуженный деятель науки и техники РСФСР, профессор кафедры органической химии Саратовского университета В. Г. Харченко вспоминала, как в один из октябрьских дней 1945 г. И. С. Мустафин пришел в общежитие к студентам, чтобы воодушевить их на «корчагинский подвиг» по заготовке топлива. То, что он задумал, действительно граничило с подвигом. И. С. Мустафин организовал большую группу студентов в поездку на Шумейские острова за хворостом для отопления университета: о дровах не мечтали — за время войны в окрестностях города все уже было вырублено. В октябрьские заморозки баржа со студентами, которых возглавлял инженер-капитан И. С. Мустафин, отплыла на острова. Высадились, разожгли несколько костров, к которым время от времени прибегали погреться. Исаак Савельевич, назвавший себя командиром «топливной экспедиции», вместе со всеми собирал хворост и относил его на баржу, подбадривая ребят остроумными шутками и веселыми замечаниями. Чтобы создать солидный запас топлива, пришлось провести несколько таких «экспедиций».

Восстановительные работы в Саратовском университете проходили на протяжении всего 1945/46 учебного года. В дело возрождения альма-матер активно включились и бывшие фронтовики — научные работники, преподаватели и студенты. Все работали с огромным воодушевлением. Студенты наряду с посещением лекций и семинарских занятий помогали лаборантам готовить



На демонстрации 7 ноября 1945 г. Слева направо: М. Н. Амброжий, И. С. Мустафин, Я. Я. Додонов, И. П. Рязанов

препараты для демонстрационных опытов и лабораторных работ, преподаватели и профессора участвовали в уборке помещений, ремонте вытяжных шкафов, лабораторных столов, газовых горелок. На проведение экспериментов и научных исследований оставалось лишь вечернее и ночное время. Но никто не считал себя обремененным — все работали с большой охотой.

И. С. Мустафин, выполняя организационные и учебные обязанности, упорно работал над завершением диссертации. Ему приходилось многое переделывать, перерабатывать, обновлять, что в условиях первого послевоенного года представляло исключительную трудность. В 1946 г. состоялась защита. Диссертация И. С. Мустафина называлась «Меллитовая кислота» и содержала массу нового материала, охватывала вопросы хемо- и биогенеза, происхождения и структуры углей и сланцев, происхождения и причин осерненности нефтей. Более того, И. С. Мустафин исследовал в диссертации не столько способы получения и свойства этой кислоты, сколько роль изучения ее особенностей в решении важных геохимических проблем. Диссертация получила высокую оценку ученого совета, и вскоре И. С. Мустафину была присвоена ученая степень кандидата химических наук.

В 1948 г. И. С. Мустафин начал работать на кафедре аналитической химии Саратовского университета. Необходимо отметить, что из всех кафедр химического факультета именно эта кафедра в первые послевоенные годы находилась, пожалуй, в наиболее трудном положении. Еще в 1940 г. тяжело заболел заведующий кафедрой профессор В. П. Голуб (1876—1944). В 1941 г. кафедре принял профессор А. Б. Шахкельдиан (1891—1943), жизнь и деятельность которого оборвалась во время войны. Состояние дел на кафедре изменилось за счет химиков из Ленинградского университета, который был эвакуирован в Саратов и разместился в корпусах Саратовского университета. Именно тогда кафедре возглавил крупный ученый профессор И. И. Жуков (1880—1949). Однако исследовательская работа в те тяжелые годы была сокращена до минимума, да и существенного научного влияния ленинградские химики на деятельность кафедры аналитической химии оказать не смогли, так как уже в 1944 г. возвратились к себе домой — в Ленинград. С их отъездом кафедра лишилась единственного профессора, и с 1944 по 1949 г. лекции по аналитической химии читались лишь кандидатами наук, в том числе доцентом И. С. Мустафиным.

В 1950 г. в порядке укрепления научных кадров университета для заведования кафедрой аналитической химии был приглашен профессор Киевского технологического института легкой промышленности Леонид Маркович Кульберг (1912—1955). Талантливый, полный энергии молодой ученый имел за плечами уже много научных трудов и большой опыт работы. Тематика его исследований была связана с решением комплексных вопросов, относящихся одновременно к аналитической, биологической, фармацевтической и технической химии.

Новый заведующий кафедрой энергично взялся за дело. Он сумел заинтересовать всех сотрудников той проблемой, над которой работал сам, и этим еще крепче сплотил дружный коллектив кафедры. Интересы И. С. Мустафина в области биогеохимии во многом совпадали с направлением исследований Кульберга. К тому же И. С. Мустафина прежде всего увлекала проблема применения органических реактивов для качественного, а в ряде случаев и количественного анализа. И уже с первых шагов изучения этой проблемы он достиг определенных успехов. При его активном участии на кафедре были организованы межобластные курсы повы-



Профессор И. С. Мустафин с группой инженеров-технологов

шения квалификации специалистов-практиков, на которых обучались работники аналитических лабораторий различных предприятий истроек Саратова, Волгограда, Куйбышева, Астрахани. Для оказания научной помощи и внедрения в производство законченных исследований И. С. Мустафин неоднократно выезжал на стройки Волго-Донского канала, Волгоградской и Куйбышевской ГЭС, на Вольский цементный завод.

Л. М. Кульберг и И. С. Мустафин гармонично дополняли друг друга. Они работали в тесном контакте, просяживая до ночи в лаборатории, и были добрыми друзьями. Эрудированному и остроумному Л. М. Кульбергу импонировали разносторонность интересов И. С. Мустафина, его литературная образованность и энергия. Л. М. Кульберг проработал в Саратовском университете всего лишь пять лет. Он был тяжело болен, хотя ни на один день не прекращал научной, организаторской и учебной работы. Ученый скончался в 1955 г. от инфаркта миокарда.

После смерти Л. М. Кульберга кафедру аналитической химии возглавил Исаак Савельевич Мустафин. К этому времени он выполнил и опубликовал уже более 30 научных исследований, основная часть которых была посвящена открытию новых методов анализа и

развитию теории действия органических реактивов. Это могло послужить основанием для докторской диссертации, на защите которой настаивал Л. М. Кульберг. Однако защиту диссертации на соискание ученой степени доктора химических наук И. С. Мустафин решил отложить до завершения разработки теории о пределах чувствительности аналитических реактивов. Поэтому защита состоялась лишь в 1959 г. и проходила в Москве в Институте геохимии и аналитической химии им. В. И. Вернадского АН СССР, сотрудники которого по традиции осуществляют исследования, связанные с развитием аналитической химии органических реактивов. Вскоре после получения диплома доктора химических наук И. С. Мустафину было присвоено ученое звание профессора кафедры аналитической химии.

До последних дней своей жизни И. С. Мустафин оставался в должности заведующего кафедрой аналитической химии Саратовского университета. Работая в лабораториях этой кафедры, он достиг тех успехов в области биогеохимии и аналитической химии, которые следует рассматривать как весьма существенный вклад в развитие советской науки. Здесь он создал свою научную школу, выполнявшую исследования в постоянной и тесной координации со школами И. П. Алимарина, А. Т. Пилипенко, К. Б. Яцимирского, А. К. Бабко, В. И. Кузнецова, И. М. Коренмана, Ю. С. Ляликова, Ю. А. Клячко и др. Здесь он подготовил большое число химиков-аналитиков, и по сей день работающих в заводских лабораториях промышленных предприятий Поволжья, Урала и других районов СССР.

Глава вторая

Ученый

Научная деятельность И. С. Мустафина протекала в трех относительно самостоятельных и вместе с тем тесно взаимосвязанных направлениях. Исследование меллитовой кислоты послужило лишь отправным пунктом всех последующих исследований. Но само по себе изучение отдельного, пусть даже и сложного, органического соединения не представляло бы особой ценности, если бы оно не вело к вторжению в комплексную биогеохимическую проблематику, как раз и составляющую одно из направлений исследований И. С. Мустафина. Вторым направлением его работ была аналитическая химия, а также развитие некоторых новых ее разделов. И наконец, третье направление можно охарактеризовать как синтез первых двух в их приложении к изучению и освоению естественных производительных сил огромной территории нашей страны — Нижнего Поволжья.

В этой небольшой книге о И. С. Мустафине попытаемся охарактеризовать способы достижения им лишь самых важных научных результатов во всех трех названных направлениях.

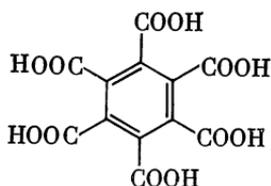
Работы по биогеохимии. Программа работ в этой области была дана в самой первой научной публикации И. С. Мустафина и его учителя Н. А. Орлова «О меллитовой кислоте», увидевшей свет в 1937 г. [I, 1]. Разработана была эта программа преимущественно Н. А. Орловым, который до этого уже многие годы осуществлял исследования в области углехимии и в этих целях начал применять метод неполной окислительной деструкции углей, в частности до образования бензолкарбоновых кислот. Однако И. С. Мустафину суждено было всего несколько месяцев после публикации их совместной статьи поработать со своим учителем; в 1937 г. Н. А. Орлов был оклеветан и расстрелян как враг народа. Поэтому не только реа-

лизация программы, но и ее неизбежная перестройка оставались всецело на попечении И. С. Мустафина.

Перестройка же была весьма существенной: Н. А. Орлов преследовал цели, не выходящие за пределы углехимии, тогда как И. С. Мустафин в своих биогеохимических работах затронул вопросы, относящиеся к происхождению и эволюции каустобиолитов вообще. Он рассмотрел генезис углей, сланцев, торфа, нефти и других петролитов. Отход от первоначально задуманной программы был настолько далеким, что в работах, связанных с происхождением нефти, потеряла свое значение и первоначально принятая методология исследований углеродистых веществ посредством меллитовой кислоты.

Но тем не менее изучение меллитовой кислоты оказалось и источником, и стимулом развития биогеохимических работ. Более того, отсюда берут свое начало и исследования в области аналитической химии, о чем будет сказано ниже.

Ко времени начала исследовательской деятельности И. С. Мустафина меллитовая кислота была уже достаточно полно исследована. А. Байер еще в 1867 г. установил ее состав и строение как бензолгексанкарбоновую кислоты [1, 1]:



А затем, в 30-х годах XX в., были разработаны методы ее синтеза на основе ацетилендикарбоновой кислоты (по способу О. Дильса — К. Альдера) и тетрахлорфталевой кислоты (через тетранитрилфталевою кислоту) с хорошими выходами. Были описаны ее физические константы и по крайней мере некоторые основные химические свойства. Казалось странным поэтому появление сообщений И. С. Мустафина в 30—40-х годах с такими тривиальными названиями — «О меллитовой кислоте» [1, 1] и «Получение меллитовой кислоты» [1, 7].

Однако уже при первом знакомстве с оригиналом этих работ всякие недоумения отпадали. Исследования меллитовой кислоты проводились И. С. Мустафиным

в целях выяснения структуры различных каустобиолитов разных месторождений, что, в свою очередь, позволяло решать два вопроса: первый — о путях естественного образования каустобиолитов из продуктов «посмертного превращения растительных тканей» [I, 1, с. 885] и второй — о возможности получения ценных кислородсодержащих органических соединений из самого распространенного сырья — каменного или бурого угля посредством его окислительной деструкции. Для достижения этих целей необходимо было найти наиболее удобные и наиболее эффективные (в смысле выхода продукта) способы получения меллитовой кислоты непосредственно из углей, ибо как наличие меллитовой кислоты, так и процент ее выхода при окислительной деструкции углей служат показателем графитовой структуры их органической основы.

Несмотря на то что о наличии меллитовой кислоты в продуктах выветривания или окисления углей высказывались предположения еще в XIX в., строгих доказательств они не имели. С тех пор как А. Байером была установлена структура меллитовой кислоты и до ее синтеза в 30-х годах XX в. из более простых соединений единственным источником ее получения служил природный минерал меллит, названный за его медово-желтый цвет медовым камнем. С изучения вопроса о связях образования медового камня с месторождениями углей, т. е. с азав всей меллитовой проблемы, и должен был начать свои работы И. С. Мустафин.

При тщательном просмотре литературы, относящейся и к химии, и к минералогии и общей геологии, И. С. Мустафину удалось установить, что меллит, как правило, встречался в трещинах бурогоугольных залежей. В небольших количествах он был найден в бурогоугольных карьерах Тюрингии, Саксонии, Богемии и Моравии. На территории нашей Родины было известно Тульское месторождение меллита, где его находили среди пластов бурого угля. Сообщалось о нахождении мелких кристаллов меллита в буром угле Забайкалья [I, 1, с. 877].

Казалось, что эту картину связи образования медового камня с месторождениями угля нарушает, если не опровергает, сообщение члена-корреспондента АН СССР Л. В. Пустовалова, опубликованное в Трудах Союзгеоразведок [II, 2]. Меллит был обнаружен им так-

же близ Тулы, но не в буроугольных отложениях, а в естественных отложениях песчано-глинистых осадков на правом берегу р. Упы. Этим все прежние предположения о генезисе медового камня, казалось, ставились под сомнение. Однако при дополнительном анализе минерала, найденного Л. В. Пустоваловым, саратовскими химиками было установлено, что он обнаружил не «медовый камень», а минерал галлуазит, загрязненный посторонними примесями. Впоследствии, убедившись в правоте замечания, Л. В. Пустовалов признал свою ошибку.

Все же однажды медовый камень был найден вне угольного пласта. Но это также не было опровержением его генезиса, а скорее подтверждением, ибо образовался он в куче бурого угля в условиях, близких к природным.

В работе «О меллитовой кислоте» (I, 1, с. 878) И. С. Мустафин не пощадил даже такой авторитет, каким является профессор Е. В. Раковский. Он писал, что утверждение Е. В. Раковского о находках медового камня в углях как продукта патологических явлений можно отметить лишь в качестве курьеза и является оно совершенно фантастическим. Вопрос был принципиальный: доказывалась структура элементарного угля, а название «медовый» было всего лишь определением цвета минерала и не имело никакого отношения к его генезису. Итальянские химики А. Бартоли и Г. Папосогли [II, 3, 4] выдвинули тогда малоправдоподобную гипотезу об образовании медового камня в угольных пластах под влиянием земного электричества и дальнейшего взаимодействия образовавшейся кислоты с какой-либо солью алюминия. Как ни маловероятна их гипотеза, они в качестве сырьевого материала рассматривали опять-таки углерод, а не продукт нектара цветов.

Проанализировав все имеющиеся литературные данные по свойствам, известным методам получения меллитовой кислоты, характеристикам минералов, в состав которых входят меллаты, И. С. Мустафин предложил использовать для получения меллитовой кислоты хорошо прокаленный, истертый в порошок сосновый уголь, который можно окислять до меллитовой кислоты двумя способами: пропусканьем хлора в щелочной раствор или же действием щелочного раствора перманганата [I, 7]. Была показана возможность получения меллитовой кислоты не только из соснового угля, но из любого другого чистого угля, например, полученного про-

каливанием винного камня, графита, восстановлением углекислого газа и т. д. Это было знаменательно: не какие-то сопутствующие вещества являются источником образования меллитовой кислоты, а сам уголь. Таким образом, меллитовая кислота — это продукт окисления угля. Все это имело принципиальное значение. Ведь чистый углерод — графит кристаллизуется с образованием гексагональной решетки, и меллитовая кислота, полученная его окислением, в основе своей имеет шестичленный цикл.

Любопытные результаты дали исследования минерала тиокерита, доставленного с Новой Земли. Элементный анализ показал, что в этом минерале содержится: 76,83% — углерода; 17,38% — серы; 2,1% — водорода; 0,82% — азота; 2,87% — кислорода — все на абсолютно сухое и беззольное вещество. Несмотря на высокое содержание углерода и серы, минерал этот оказался негорючим, химически крайне инертным, окислению он подвергался с большим трудом. Однако глубокое окисление тиокерита с помощью крепкой азотной кислоты в присутствии пятиокси ванадия или с помощью перманганата также привело к образованию меллитовой кислоты. Это еще раз указывало на конденсированную кольчатую структуру тиокерита.

И. С. Мустафин заметил, что условия окисления существенно влияют на выход меллитовой кислоты. Так, из 2 кг бурого угля удается извлечь 19 г меллитовоокислого аммония, но стоит ужесточить условия окисления, повысить температуру с 200 до 250°, как выход резко снижается до 2,3 г. Сходные результаты были получены им при окислении тощего каменного угля.

Было установлено, что при окислении ископаемых углей ответственной за образование бензолкарбоновых кислот является их гумусовая часть. Многочисленные опыты свидетельствуют, что на некоторых стадиях окисления гуминовые кислоты становятся промежуточным продуктом, который при дальнейшем окислении перманганатом превращается в сложную смесь бензолкарбоновых кислот. В этой смеси встречается и меллитовая кислота.

Однако в природных условиях нет таких жестких окисляющих агентов, как азотная кислота, перманганат, пятиокись ванадия, а из естественных продуктов все же выделяют меллитовую кислоту, да и медовый камень — природный минерал. Естественно предположить, что в

некоторых случаях глубокое окисление может достигаться и в чрезвычайно мягких условиях. В качестве примера И. С. Мустафин приводит данные об образовании меллитовой кислоты при непродолжительном окислении гумусоподобного вещества из дупла старого дуба. В то же время, указывает он, нет оснований считать, что любая гуминовая кислота может стать источником меллитовой. Многие из них еще не обладают необходимой степенью конденсированности ароматических циклов, поэтому в продуктах окисления некоторых изученных торфяных гуминовых кислот не удается обнаружить присутствие меллитовой кислоты.

Как любопытный естественный продукт, дающий при окислении меллитовую кислоту, И. С. Мустафин отмечает аспергиллин — черное пигментативного характера красящее вещество спор плесени [1, 7]. При окислении его перекисью водорода образовалась меллитовая кислота без каких-либо признаков кислоты щавелевой. И. С. Мустафин замечает, что это, быть может, пока единственный пример нахождения гуминового вещества в органах нормального живого растения, если не считать химически неизученных до того времени углеподобных образований в околоплодных сложноцветных — фитомелана.

Подводя итог изучения вопроса об образовании меллитовой кислоты в естественных условиях, И. С. Мустафин пришел к следующему заключению. Если продукты нормального биосинтеза в организмах, за исключением лигнина, лишь редко обладают той степенью конденсированности ароматических колец, которая обеспечивает им возможность давать при окислении меллитовую кислоту, то продукты естественного посмертного превращения растительных тканей, к которым относятся в первую очередь гуминовые кислоты, как правило, уже обладают необходимой для этого структурой. И. С. Мустафин показал, что образование такой гуминовой структуры из нормальных продуктов биоорганического синтеза в одних случаях может с легкостью вызываться действием на них разнообразных химических реагентов, в других — применением более или менее энергичных термических воздействий, в третьих — процессом медленного окисления (выветривания), нивелирующим строение самых разнообразных органических веществ и приводящим в конечном итоге к веществам с потенциальным (а иногда и явным) графит-

товым или углеродным скелетом конденсированных кольчатых систем типа замещенного пирена или бензофенантрена.

В подтверждение высказанного положения И. С. Мустафин ссылается на результаты окисления гипохлоритом гуминовых веществ, полученных из углеводов действием кислот. В продуктах реакции был обнаружен углекислый газ, муравьиная, щавелевая кислоты, хлороформ, но также и кольчатая меллитовая кислота. Как добавочное указание на то же он отмечает самопроизвольное образование меллитовой кислоты из пробелочного клера (сахарный сироп). После длительного его хранения при 30–40° в нем появилась углеподобная масса, из которой при экстракции ее спиртом выделили некоторое количество меллитовой и пиромеллитовой кислот. По-видимому, эти кислоты образовались при окислении углистого или гуминоподобного вещества, полученного из клера.

Получение меллитовой кислоты при окислительной деструкции углей и углеподобных веществ послужило для И. С. Мустафина критерием определения структуры многочисленных каустобиолитов и путей их формирования.

Во-первых, была доказана невозможность существования в естественных условиях аморфного углерода [1, 4, 6, 7].

Во-вторых, было показано, что гексагональная решетка кристаллического графита является наиболее вероятной формой карбонизации (углеобразования, или углеродообразования) омертвевших тканей растительных организмов. А это означает, что процесс карбонизации сопровождался значительным перераспределением химических связей целлюлозы и лигнина или, иначе говоря, их ароматизацией и конденсацией ядер [1, 3, 4, 6, 7, 13].

В-третьих, был сделан вывод о различной степени конденсированности ароматических ядер разных углей, т. е. об их «возрасте». Этот вывод следует из зависимости скорости реакций окислительной деструкции и выходов меллитовой кислоты как от степени карбонизации, так и от степени конденсированности ароматических циклов [1, 4].

В-четвертых, были получены данные, свидетельствующие о более или менее одинаковом составе смесей бензолкарбоновых кислот (в которых всегда присутст-

вовала меллитовая кислота), образующихся при окислительной деструкции углей и лигнина, что, в свою очередь, служит доказательством справедливости гипотезы о лигнинном происхождении углей [I, 4, 13].

И наконец, был добыт материал об образовании меллитовой кислоты из углеподобных веществ, являющихся продуктами глубокого пиролиза сахаров и других углеводов [I, 3, 4]. В дальнейшем этот материал послужил И. С. Мустафину отправным пунктом в развитии представлений о генетических связях между: органическими соединениями, способными при окислении образовывать формальдегид; углеводами, образующимися полимеризацией формальдегида; углеподобными веществами — продуктами дегидратации и пиролиза углеводов.

Для обоснования реальности таких генетических связей И. С. Мустафин обратился к исследованию двух относительно самостоятельных проблем. Первая из них состояла в выяснении возможности абиогенного образования углеводов из углеводородов строения $R-CH=CH_2$ и попыток выделения таких углеводородов из каменноугольных смол. Вторая проблема относилась в основном к геологии, хотя по сути своей имела тот же комплексный биогеохимический характер. Это — проблема распределения основных видов каустобиолитов по стратиграфическим системам.

Решению первой проблемы посвящены два специальных исследования, одно из которых было осуществлено И. С. Мустафиным совместно с Н. А. Орловым и по представлению академика Н. Д. Зелинского опубликовано в Докладах АН СССР [I, 2].

Известно, что источником получения углеводов являются, как правило, тела растительного происхождения. Выделить их как продукт какой-то реакции вне организма удавалось немногим, в частности А. М. Бутлерову, который синтезировал сахаристое вещество из формальдегида. Н. А. Орлов и И. С. Мустафин пришли к убеждению, что синтез углеводов можно провести без участия биохимических агентов в лабораторных условиях, но в возможно более близких к природным. Для экспериментального подтверждения этого предположения они в качестве исходного материала выбрали такие соединения, структура которых обеспечивала бы как можно более легкое образование формальдегида, от которого по пути, проложенному А. М. Бутлеровым,

можно перейти к углеводам. Исходными соединениями были взяты стирол $C_6H_5-CH=CH_2$, дипентен $CH_3-C_6H_8-C(CH_3)=CH_2$ и аллиловый спирт $HOCH_2-CH=CH_2$, т. е. соединения типа $R-CH=CH_2$. Оказалось, что такие соединения в присутствии мела и активированного угля при температуре $100-110^\circ C$ активно взаимодействуют с молекулярным кислородом, т. е. самоокисляются, образуя через формальдегид сахара типа пентоз.

Второе исследование, осуществленное И. С. Мустафиным [1, 3] параллельно первому, дало возможность непосредственно выяснить генетические связи между соединениями типа $R-CH=CH_2$ и таким каустобиолитом, как нефть. Полученные таким образом (в подтверждение предыдущих) новые результаты позволили И. С. Мустафину обратиться к рассмотрению второй проблемы. В двух работах, выполненных вскоре после окончания войны [1, 8, 12], он представил удивительно интересную, обоснованную многолетней геологической практикой картину распределения всех основных видов каустобиолитов по стратиграфическим системам.

В работе «К проблеме генезиса сернистых нефтей», опубликованной в 1948 г. по представлению известного советского геолога академика С. И. Миронова в Докладах АН СССР [1, 8], И. С. Мустафин, обращаясь к идее В. И. Вернадского о постоянстве состава живого вещества, сопоставляет судьбу серы и азота в органическом веществе. Он отмечает, что в обычных термодинамических условиях азот в состав органической молекулы входит только под воздействием специфического живого вещества, например азотобактера бобовых растений, тогда как сера в тех же условиях способна вступить с изменяющимся веществом в реакции abiогенного характера. Исходя из того, что обеднение исходного вещества азотом и серой идет пропорционально, он заключает, что их первоначальное содержание в нефтях должно измеряться сотыми долями процента. Эти соображения, равно как и экспериментальное сравнение большого количества образцов малосернистых нефтей по содержанию азота и серы, дают ему возможность утверждать, что термину «малосернистые нефти» (с содержанием серы до 0,5%) следует придать вполне определенный смысл: он должен характеризовать нефти, содержащие только первичную серу. Многосернистые же нефти, по мнению ученого, обогащаются ею в пла-

стах, причем это осернение может носить как биогенный, так и абиогенный характер.

Интересно отметить, что в этой работе [1, 8] И. С. Мустафин как бы в качестве пролога к последующим исследованиям приводит данные о неравномерном стратиграфическом распределении нефти и угля по координате времени от палеозоя до кайнозоя и показывает, что «мезозойское время... было неблагоприятным для накопления каустобиолитов» [1, 8, с. 1015]. Делает это он с целью связать факт стратиграфической неравномерности нефтеносных пород с данными об их элементном составе, который, по его мнению, «не только отражает сложнейший процесс посмертного изменения органического материала, но в какой-то степени несет в себе отзвук о живом веществе, давшем ей (нефти.— *Б. К.*) начало» [1, 8, с. 1016].

Более подробно и всесторонне всю эту проблему И. С. Мустафин рассматривает в работе «О стратиграфическом распределении горючих ископаемых» [1, 12]. В ней он наглядно сопоставляет известные мировые запасы горючих ископаемых по геологическим периодам и приходит к выводу о сопряженной неравномерности стратиграфического распределения отложений нефтей, горючих сланцев и каменных углей, что видно из графика (см. рисунок), в котором на оси ординат даны мировые запасы каустобиолитов в %, а на оси абсцисс — геологическое время в соответственных отрезках протяженности. Полученный вывод, а точнее, открытую закономерность он сформулировал следующим образом: «Отложения каустобиолитов различных геологических периодов содержат в масштабе планеты пропорциональные количества нефтей, горючих сланцев и каменных углей» [1, 12, с. 196].

Биогенный характер горючих сланцев и каменных углей, подчеркивал И. С. Мустафин, никогда никем не оспаривался, а растения, из которых образовался торф, появились только в девонском периоде. Все это позволило ученому высказать предположение, что подмеченная им закономерность говорит в пользу органического происхождения нефти.

Следует отметить, что И. С. Мустафин прямо указывал и на возможность минерального синтеза нефтей в природе. Поэтому отрицание менделеевской теории происхождения нефти было бы преждевременным. Но корреляции в стратиграфическом распределении горючих

Возрастная характеристика мировых запасов

нефти (...), сланцев (---) и каменного угля (—)

ископаемых — весьма значительный аргумент для тех, кто склонен признавать ее органическое происхождение.

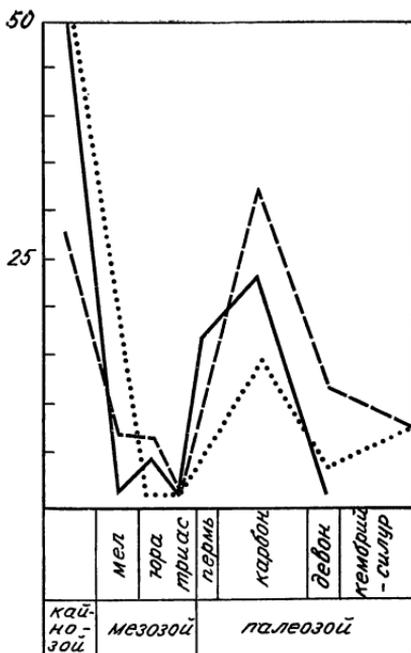
В этой же работе был рассмотрен вопрос о возможных перемещениях нефти — вертикальных и горизонтальных. Отмеченная ученым закономерность говорила о недостаточной обоснованности устоявшегося мнения о вторичности пенсильванских нефтяных залежей (перемещение из силура в девон), так как в

противном случае пропорциональность запасов горючих ископаемых в значительной мере была бы нарушена. В работе отмечался и тот факт, что некоторые перемещения могут быть обусловлены капиллярными или гравитационными силами, хотя решающего значения в таком процессе они не имеют.

Результаты, полученные И. С. Мустафиным в области генеалогии каустобиолитов, не остались на рубеже 50-х годов. Дальнейшее развитие они получили в трудах ученых, работающих в области биогеохимии. Об этом, в частности, свидетельствуют обзоры, посвященные происхождению каустобиолитов, например в книге под редакцией члена-корреспондента АН СССР М. Ф. Мирчинка «Происхождение нефти» [II, 5, с. 429—431], ставшей основным руководством в этой области.

Работой «О стратиграфическом распределении горючих ископаемых» заканчивается цикл биогеохимических исследований И. С. Мустафина. С начала 50-х годов внимание ученого полностью переключается на тематику, относящуюся к аналитической химии.

Исследования по проблеме чувствительности аналитических реакций. В истории науки можно встретить



немало примеров, свидетельствующих о лавинообразном потоке научных исследований в той или иной области, берущем свое начало всего лишь от одной работы. Так, химия ацетиленовых соединений, ставшая обширнейшим разделом органической химии в школе А. Е. Фаворского, в сущности проистекает из самой первой работы Фаворского по изомеризации этилацетилена в диметилацетилен [II, 6]. Эта работа явилась как бы геном, концентрированная информация в котором задала программу развития всего древа ацетиленовой химии. Совершенно аналогичным является пример развития древа химии фосфорорганических соединений школой А. Е. Арбузова, где геном послужила самая первая работа этого ученого по изомеризации эфиров фосфористой кислоты в эфиры фосфиновых кислот, т. е. та работа, в которой была открыта арбузовская перегруппировка [II, 7].

Такого рода примером является и развитие исследований И. С. Мустафина как в области биогеохимии, так и в области аналитической химии. Дело в том, что его работы по аналитической химии тоже проистекают из первой работы ученого по меллитовой кислоте. Показав важность образования меллитовой кислоты при окислительной деструкции графитовой решетки, он должен был установить выходы этой кислоты при окислении углей различной степени карбонизации. Но приемлемых аналитических методов определения меллитовой кислоты до И. С. Мустафина не существовало. Он создал эти методы, для чего предварительно синтезировал полный ангидрид меллитовой кислоты [1, 6]. Полученный ангидрид образовывал с нафталином кристаллы оранжево-красного цвета, с антраценом — темно-синего, с фенантроном — коричнево-красного, с вератролом — светло-коричневого. Ученый получил все эти кристаллы, изолировал и титрованием щелочью их растворов установил, что во всех случаях молекулярное соотношение их компонентов не выходит за пределы 1:1.

Затем И. С. Мустафин дал сводную таблицу окрашивания растворов триангирида меллитовой кислоты в 62 органических растворителях, таких, как дифенил, кумарин, нафталин, антрацен, флуорен, камфора и многие другие. По этой таблице уже можно не только определять названный ангидрид, но и по ангидриду различить, например, α -нафтол от β -нафтола. С первым триангирид меллитовой кислоты давал фиолето-

во-красную окраску, а со вторым — красно-бурую. Антрацен с триангидридом окрашивался в синий цвет, а диантрацен оставался бесцветным. Для химиков-органиков и аналитиков этот последний аспект работы И. С. Мустафина имел несомненное практическое значение. Отсюда и берут начало исследования по аналитической химии.

Вклад И. С. Мустафина в науку во многом определяется особым значением той области аналитической химии, которой он посвятил себя начиная с 50-х годов. Речь идет о применении органических реактивов для неорганического анализа. Находясь на стыке органической, неорганической, физической и аналитической химии, эта область обогатилась интереснейшими результатами, стимулировавшими дальнейшее развитие спектроскопии, потенциометрии, люминесцентных и других методов анализа. Благодаря работам советских ученых, в частности И. С. Мустафина и его школы, органические реактивы стали «фронтально наступать» на всю аналитическую химию.

«Если до 1941 года во всем мире, — писал И. С. Мустафин в 1967 г., — было издано около 2500 работ по аналитическому применению органических веществ, то сейчас не менее 90% публикуемых в периодической литературе химико-аналитических работ посвящено этой проблеме» [I, 142, с. 13]. Стремительное развитие прецизионной техники, получения материалов с заданными свойствами, и в частности полупроводников, атомной энергетики, тонкой химической технологии и других отраслей производства потребовало такой точности химических определений, какая до этого времени считалась фантастической. «Точность аналитических приемов, — утверждал И. С. Мустафин, — за все XIX столетие увеличилась на один порядок, а за последние 15 лет — на шесть порядков. В настоящее время есть необходимость и возможность определять 10^{-10} % примеси к основному веществу» [I, 142, с. 20]. Внедрение в аналитическую практику органических реактивов поднимает всю аналитическую химию на новый, более высокий уровень развития прежде всего потому, что эти реактивы в своем большинстве обладают высокой чувствительностью, т. е. способностью реактива показывать хорошо фиксируемый аналитический эффект при взаимодействии с искомым веществом.

Причины, побудившие заняться широкомасштабным поиском и изучением органических реактивов, с особой остротой поставили перед химиками проблему чувствительности этих реактивов и аналитических методов. Эта проблема уже в момент ее становления привлекла внимание одного из ведущих аналитиков — академика И. П. Алимарина, который в целях конкретизации представлений о чувствительности различных аналитических приемов ввел в аналитическую практику понятие «уверенно открываемый минимум».

В самом деле, как можно удовлетворить промышленность, требующую все более прецизионного определения микродоз тех или иных примесей, если точность химического определения не позволяет достигнуть этого. Начиная с 50-х годов многие аналитические лаборатории сосредоточенно работали над созданием количественных методов, более или менее надежно сообщающих о наличии самых незначительных примесей и тем самым о чистоте основного продукта или препарата. А потребность в сверхчистых материалах с развертыванием современной научно-технической революции ощущалась все настоятельней. В этой связи все новые и новые сотни публикаций в периодических химических изданиях сообщали о достижении все большей чувствительности реактивов и о все более высокой точности аналитических определений. Это вызывало и восхищение, и удивление, но, пожалуй, больше всего — лихорадочное соревнование химиков-аналитиков в их стремлении к беспредельной чувствительности. Казалось, что все служило хорошему, нужному, крайне необходимому делу.

Однако постепенно начали возникать и сомнения. Случалось, что достигнутая в одной лаборатории точность определения никак не воспроизводилась в другой, хотя все рекомендации первой исполнялись очень скрупулезно. Это неприятное обстоятельство, естественно, не ускользнуло от внимания ведущих химиков-аналитиков. Могли иметь место и искренние заблуждения, и недоучет каких-то условий, и, наконец, простая научная спекуляция. Создалось очень неприятное положение: родился скепсис, всякое новое достижение в улучшении точности определения воспринималось недоверчиво и часто заслуженно и незаслуженно подвергалось жестокой критике.

И. С. Мустафин, с самого начала своей научной деятельности занимавшийся исследованием органических

реактивов, естественно, не мог остаться в стороне от проблемы их чувствительности. Исходя из собственных экспериментов, он пришел к выводу, что существуют вполне объективные причины, ограничивающие возможность повышения чувствительности при прямом определении. Замечено было, что одноклеточные органические реактивы имеют какую-то наивысшую чувствительность на данный ион, которую никак не удается превзойти. Дальнейшие исследования привели Мустафина к заключению, что вообще существует предел достижения чувствительности определения не для какого-нибудь реактива, а для метода в целом [1, 31, 60, 56].

Известно, что одной из важных характеристик, которую выясняют при снятии спектрофотометрической кривой, является молярный коэффициент погашения аналитических форм обычных колориметрических реактивов в максимуме поглощения $\epsilon_{\text{мол}}$ (определения понятий «аналитическая форма», «аналитический эффект» и др. см. в [1, 142]). Вычисляют его по формуле

$$\epsilon_{\text{мол}} = \frac{A}{c \cdot l}, \quad (1)$$

где A — оптическая плотность раствора;

c — его концентрация в моль/л;

l — толщина слоя раствора в см.

Важна эта величина потому, что она характеризует чувствительность определения в колориметрических и спектрофотометрических методах. Чем выше молярный коэффициент погашения, тем более точно можно провести анализ. Обычная величина его $\sim n \cdot 10^4$, лишь у очень интенсивно окрашенных соединений она достигает $\sim n \cdot 10^5 \cdot (1 \leq n \leq 10)$.

Обращая внимание на то, что с помощью визуальных фотометрических приборов можно достоверно констатировать различие в светопоглощении двух растворов только в случае разницы их оптических плотностей, равной 0,02, И. С. Мустафин провел расчет, по которому можно установить концентрацию конечного продукта аналитической реакции с «уверенно открываемым минимумом». Допустив участие в реакции всего лишь одной частицы (атома, иона, молекулы) искомого вещества и отбросив в сторону незначительное увеличение объема, ученый показал, что существует естественный предел повышения чувствительности. Он провел расчет, исходя из предположения наиболее интенсивной окрас-

ки $\epsilon_{\text{мол}} = 1 \cdot 10^5$. Преобразовав формулу (1) как

$$c = \frac{A}{\epsilon_{\text{мол}} \cdot l},$$

он подставляет в нее соответствующие величины

$$c = \frac{0,02}{1 \cdot 10^5} = 2 \cdot 10^{-7} \text{ моль/л}$$

и приходит к однозначному выводу, что наблюдать аналитический эффект при колориметрическом определении можно только при концентрации не ниже указанной и все «более точные» анализы — лишь кажущиеся [I, 60].

Для того чтобы рассчитать предельную чувствительность реактивов-осадителей, И. С. Мустафин также рассматривает крайние условия [I, 60]. Он предполагает, что при проходящем дневном свете или на черном фоне при боковом освещении) возникновение бесцветного осадка наблюдается при взаимодействии бесцветных растворов: предельно чувствительного реактива-осадителя и искомого вещества. Идеально белая поверхность полностью отражает, а идеально черная — полностью поглощает падающий на нее свет, все видимые лучи спектра. Между этими цветами теоретически допускается бесчисленное количество серых цветов, но глаз в состоянии различить только 250 оттенков. Известно, что при обычных интенсивностях света человек способен уловить различие в освещенности в 0,4%. Таким образом, сосуд с бесцветным осадком можно отличить от сосуда с чистым раствором лишь тогда, когда осадок экранирует около 0,4% всей площади обзора. Далее И. С. Мустафин рассчитывает наименьшую площадь экранирования или отражения света осадком (S). При этом он исходит из идеальной модели: молекулярную массу аналитической формы условно принимает за 100 и предполагает наличие простейшей схемы взаимодействия реактива с искомым веществом (молекула на молекулу) и идеальных свойств осадка (полная нерастворимость). Кристаллы осадка в таком случае должны иметь оптимальные размеры и удельную массу, равную единице. Исходя из такой модели и из того, что сказано о восприимчивости глаза, он рассчитывает

$$S = \frac{0,4S_0}{100} = 4 \cdot 10^{-3} S_0 \text{ см}^2,$$

где S_0 — площадь обзора.

Размеры кристаллитов для таких условий должны быть близкими к величине 10^{-4} см. Если они превысят ее, то невозможно составить оптимально экранирующую или отражающую площадь. Если же размеры кристаллитов окажутся меньшими, чем указанная величина, то световой поток будет частично огибать их. Допуская, что осадок состоит из одного единственного слоя частиц с указанными размерами, И. С. Мустафин рассчитывает его объем. Он будет равен $4 \cdot 10^{-3} S_0 \cdot 10^{-4}$ см³, т. е. $4 \cdot 10^{-7} S_0$ см³. При принятых условиях вес осадка составит $4 \cdot 10^{-7} S_0$. Площадь обзора при лабораторных наблюдениях чаще всего составляет 1 см². Взяв 0,5 мл исследуемого раствора и разведя его вдвое (реактивный раствор и буферная смесь), можно рассчитать и установить минимум концентрации, поддающейся определению. Тогда вес осадка будет равен $4 \cdot 10^{-7}$ г, или $(4 \cdot 10^{-7})/100 = 4 \cdot 10^{-9}$ моль. Если бы объем маточного раствора равнялся 1 л, то осадок содержал бы $4 \cdot 10^{-9} \cdot 1000 = 4 \cdot 10^{-6}$ моль аналитической формы и концентрация вещества составляла бы $2 \cdot 4 \cdot 10^{-6}$ моль/л. Это и есть минимальная концентрация вещества, при которой оно может быть открыто с помощью предельно чувствительных реактивов-осадителей — $8 \cdot 10^{-6}$ моль/л.

Реактивами-осадителями пользуются как в весовом анализе, так и в турбидиметрии, когда фиксируют количество света, поглощенного коллоидной суспензией, и в нефелометрии — при замере количества рассеянного света. Точность определения в весовом анализе зависит не только от чувствительности реактивов и реакции, но и самого инструмента — весов. Естественно, что определяемый минимум весового метода значительно выше, чем в других случаях.

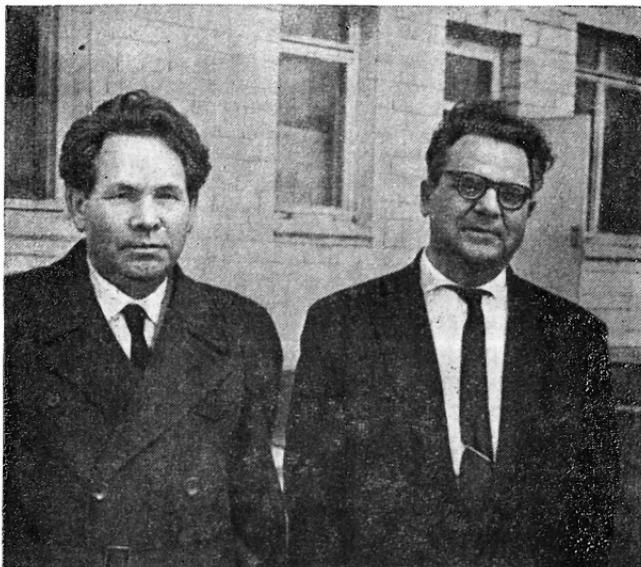
В нефелометрии размер частиц, участвующих в так называемом рэлеевском рассеянии, бывает значительно меньше длины световой волны. При визуальном наблюдении они просто не обнаруживаются и раствор кажется прозрачным. Общеизвестный эффект Тиндаля при боковом освещении раствора позволяет заметить и их. Наименьший диаметр частиц, когда их можно обнаружить, ограничивается помехами флуктуации¹ среды — в данном случае показателя преломления — и практи-

¹ Самопроизвольно происходящие случайные отклонения физических величин от их среднего значения.

чески не бывает меньше нескольких нанометров. Основываясь на этом, И. С. Мустафин произвел расчет, аналогичный прежнему. Приняв объем нефелометрируемого раствора равным 1 мл, площадь обзора 1 см², молекулярную массу, как и прежде, 100, он показал, что минимальная концентрация аналитической формы в этом случае достигает порядка 10⁻⁸ моль/л. Таким образом, И. С. Мустафин решил важнейшую задачу аналитической химии: установил пределы чувствительности аналитических реактивов и наиболее распространенных количественных методов анализа.

О том, насколько эта задача была актуальной в 50-е годы, можно судить по трудам других исследователей, которые приступили к ее решению почти одновременно и лишь немногим позже И. С. Мустафина. В этой связи нельзя не упомянуть о работах И. Ноддак (1896—1978) в том же направлении, о которых она рассказала в своем докладе на VIII Менделеевском съезде в Москве в марте 1959 г. Выступление И. Ноддак, состоявшееся на заседании Секции неорганической и аналитической химии Менделеевского съезда [III, 2], было встречено присутствовавшими с огромным интересом. Как известно, с именами Иды Ноддак и ее мужа Вальтера Ноддака (также участвовавшего в работе съезда) связаны выдающиеся события в истории химии. В 1925 г. супруги Ноддак открыли рений, подтвердив предвидение Д. И. Менделеева не только о существовании, но и о свойствах элемента № 75. Ида Ноддак еще в 1934 г. высказала предположение о том, что ядра урана при бомбардировке нейтронами могут разделяться на большие осколки, представляющие собой изотопы известных элементов. К сожалению, это смелое предвидение деления урана было встречено в 30-е годы с недоверием. На VIII Менделеевский съезд И. Ноддак привезла новые результаты своих исследований: она установила естественные пределы чувствительности аналитического определения микродоз химических элементов при использовании колориметрических методов.

При обсуждении ее доклада выступил и И. С. Мустафин. Он выразил большое удовлетворение прослушанным сообщением, однако подчеркнул, что многие положения Иды Ноддак давно уже высказаны советскими учеными. И. С. Мустафин кратко изложил основные выводы из своих исследований по определению предела чувствительности аналитических реакций. При



**Профессора И. С. Мустафин (слева) и А. И. Бусев.
Новосибирск, 1962.**

этом выяснилось, что если Ида Ноддак говорила о пределе чувствительности лишь колориметрических реакций, то у И. С. Мустафина к тому времени уже были данные по пределу чувствительности как цветных реакций, так и реакций с участием осадителей. И. С. Мустафин также обратил внимание И. Ноддак на ряд таких аспектов, которых она в докладе не коснулась [III, 2].

Участник VIII Менделеевского съезда саратовский профессор В. П. Храмов вспоминал, как академик А. А. Гринберг, который председательствовал на заседании, сообщил присутствующим о том, что статья И. С. Мустафина «Определение чувствительности аналитических реактивов» была ранее представлена к печати в Докладах АН СССР, а вопрос о пределе чувствительности весьма полно и подробно рассмотрен саратовским ученым. По мнению академика, выводы И. Ноддак и И. С. Мустафина «не расходятся, что позволяет говорить об их надежности и правильности, они во многом дополняют друга друга. В науке главное установление истины, а не приоритета». Свою работу «Определение чувствительности аналитических реактивов», опубликованную впоследствии в Докладах АН [I, 60],

И. С. Мустафин вручил Иде Ноддак с теплой дарственной надписью.

Дальнейшее развитие идеи о чувствительности органических и неорганических реагентов, о пределах различных физико-химических методов количественного анализа получили в докладах И. С. Мустафина на III Международной конференции по аналитической химии в Праге [I, 56], на всесоюзных совещаниях в Ростове-на-Дону [I, 55], в Горьком [I, 79], в Алма-Ате [I, 87] и других публикациях [I, 89, 142].

Установив пределы чувствительности аналитических реакций и реактивов при прямом определении объектов, И. С. Мустафин продолжал искать новые пути преодоления недостаточной чувствительности предельно чувствительных реактивов и количественных методов анализа, которые вырисовывались в приемах аналитического обогащения или концентрирования. К таким он прежде всего отнес экстракционные методы, в соответствии с которыми определяемый элемент извлекают из водной среды в неводную [I, 142, с. 31]. Экстрагентом в таких случаях может быть органический растворитель, не смешивающийся с водой, например бензол, толуол, хлороформ, дихлорэтан, высокомолекулярные спирты и т. д. Если вещество без изменения растворяется в двух несмешивающихся жидкостях, то после установления равновесия справедливо равенство

$$K_p = \frac{C_{\text{водн}}}{C_{\text{орг}}},$$

где $C_{\text{водн}}$ — равновесная концентрация растворенного вещества в водной фазе; $C_{\text{орг}}$ — равновесная концентрация растворенного вещества в органической фазе; K_p — коэффициент распределения растворенного вещества в водной и неводной фазах.

Чем меньше эта величина, тем большего успеха может достичь аналитик. Экстракцию проводят неоднократно, после чего устанавливают весовое количество определяемого вещества в водном растворе. На основании приведенного равенства легко вывести формулу для расчета эффективности экстракции:

$$X_n = a \left(\frac{K_p l}{m + K_p l} \right)^n,$$

где a — количество экстрагируемого вещества в исходном водном растворе, X_n — тоже — в водной фазе

после n -кратного экстрагирования органическим растворителем, l — весовое количество воды в исходном растворе, m — весовое количество растворителя, употребляемого для однократного извлечения, n — число экстракций.

Для анализа следовых количеств компонентов И. С. Мустафин рекомендовал также приемы, связанные с применением адсорбционных явлений [I, 142, с. 32]. В этих случаях обогащение или концентрирование чаще всего связано с гетерогенным обменом ионов между твердой (иониты) и жидкой (раствор, растворитель или элюент) фазами.

В ряде случаев для концентрирования определяемого вещества могут быть использованы осаждение, испарение, сублимация, перегонка и другие методы отделения веществ, имеющих различную упругость паров при одинаковых температурах.

И. С. Мустафин обосновал перспективность при определении малых количеств вещества кинетических методов анализа, основанных на установлении концентрации элемента по измерению скорости реакции, которую он катализирует [I, 142, с. 33]. Большое внимание он уделял аналитическому использованию явлений радиоактивности, которое позволяет определять количества элементов исчисляемые несколькими атомами [I, 142, с. 33]. Отмечая чувствительность к некоторым веществам микроорганизмов, И. С. Мустафин считал, что в обозримом будущем следует ожидать разработки ряда аналитических приемов с использованием селективного отношения микробов к химическим веществам [I, 142, с. 33]. Высокой чувствительности определения, по его мнению, можно добиться методами, основанными на образовании комплексных и внутрикомплексных соединений с люминесцентными органическими реактивами.

Все названные здесь в качестве перспективных методы повышения точности анализа микродоз И. С. Мустафин обосновал и практически путем специальных экспериментов, и теоретически, подробно охарактеризовал их в своей монографии [I, 142].

Заслуга И. С. Мустафина, таким образом, состоит в том, что он не только показал и доказал принципиальную невозможность повышения чувствительности определения прежними способами, но и наметил пути развития перспективных аналитических методов. Естест-

венно, что перспективные исследовательские программы являются результатом коллективных усилий ученых. Но последние суммируются из индивидуальных вкладов, величина каждого из которых определяется значением научных результатов, полученных тем или иным ученым и ставших основанием новых программ. Научные результаты работ И. С. Мустафина, о которых лишь частично сказано выше, фундаментальны. Именно поэтому фундаментален и его взгляд в будущее. Впрочем, здесь еще рано подводить итоги его исследований.

Органические реактивы и открытие новых аналитических реакций. В 50-е годы, когда И. С. Мустафин приступил к исследованиям в области органических реактивов, в химии происходили коренные изменения. Принципиально новым содержанием, подчас противоположным прежнему, но более общим и адекватным, стали наполняться даже такие понятия, как «химический элемент» [II, 9], «химическое соединение» [II, 10, 11], «молекула» [II, 12, 13], «химическая связь» [II, 14], «валентность» [II, 15, 16] и т. д. По существу, это была настоящая научная революция, знаменующая собой наступление нового периода в развитии этой области науки.

Когда историки науки пытаются выработать периодизацию развития соответствующих отраслей знания, то они с большим трудом находят критерии отграничения одного периода от другого, но, как правило, с невероятной легкостью отделяют классический период истории своей науки от современного, или неклассического. И все-таки для химической науки (как, впрочем, и для естествознания в целом) существует строгий критерий разграничения этих периодов ее истории. Рубежом, их разделяющим, является «новейшая революция в естествознании»², апогеем которой следует считать появление в середине 20-х годов квантовой механики и почти параллельно с нею в конце 20-х — начале 30-х годов — квантовой химии.

В истории аналитической химии тоже необходимо указать на классический и неклассический периоды. При этом критерием их отграничения остается, по существу, все то же отношение к квантовомеханическим принципам: в отличие от классической неклассическая аналитическая химия оперирует строго определенными

² Ленин В. И. Полн. собр. соч. Т. 18. С. 264.

новыми «электронифицированными» понятиями химической связи, водородной связи, перемещения электронных зарядов от одного структурного фрагмента молекулы к другому и т. п. В том, что аналитическая химия начала оперировать такими понятиями только в 50-х годах, «виновен» растянувшийся на два десятилетия процесс формирования квантовой химии. Вместе с тем свою роль сыграли здесь и трудности, с которыми встретились химики-экспериментаторы на пути синтеза теоретических квантомеханических представлений с большим массивом эмпирического материала.

Важнейшей особенностью неклассической аналитической химии, в появлении которой большую роль сыграли труды И. С. Мустафина, является ассимиляция знаний, почерпнутых из других отраслей химии. Это обстоятельство отчетливо будет видно из дальнейшей характеристики основных работ И. С. Мустафина, относящихся к области органических реактивов. Собственно, уже само по себе интенсивное внедрение органических реактивов в аналитическую практику следует рассматривать как одну из особенностей неклассической аналитической химии, ибо оно создает союз аналитической химии с органикой, а также с химией комплексных соединений и с учением о катализе.

Отдельные органические соединения, в основном экстракты ряда природных продуктов (ягод, плодов, лепестков и т. д.), издавна применялись для анализа веществ, главным образом в качестве индикаторов. Среди первых органических аналитических реактивов были карминовая кислота, гематоксилин, гематеин, α -нитрозо- β -нафтол, формальдоксим, тиомочевина, полный ангидрид меллитовой кислоты, синтезированный И. С. Мустафиным, и некоторые другие [1, 17]. Но использование органических реактивов в работах, относящихся к классической аналитической химии, имело спорадический характер. Это был даже не подготовительный этап к современной аналитической практике с помощью органических веществ, носящей характер системы.

«Органический аналитический реактив,— писал И. С. Мустафин,— это такое органическое соединение, которое, имея аналитический центр, является прямым участником аналитического процесса, трансформируется непосредственно в результате аналитической реакции, и эта трансформация фиксируется как аналитический эффект» [1, 142, с. 14]. Приступив к исследова-

нию в области органических аналитических реактивов, И. С. Мустафин сосредоточил главные усилия на разработке теоретических основ применения органических веществ в анализе. Он считал, что только этот путь может привести к созданию системы методов решения конкретных аналитических задач. Ученый выдвинул теоретические положения, открывающие пути к конструированию молекул реактивов с заранее заданными свойствами. Фундаментом этих положений были бутлеровская теория химического строения и ее главный тезисом взаимного влияния атомов и методы молекулярных орбиталей как квантовомеханические аналоги этой теории.

Совершенно очевидно, что введение любого атома или любой группировки атомов в молекулу органического реактива в большей или меньшей степени должно отразиться не только на свойствах этой молекулы, но и на свойствах индивида, возникающего в результате аналитической реакции. Исходя из этого, И. С. Мустафин приступил к выявлению степени и характера внутримолекулярного воздействия различных атомов и групп, вводимых в разные части молекулы органического реактива, на его аналитический центр.

Проблема внутримолекулярного взаимодействия атомов расчленилась И. С. Мустафиным на вопросы взаимного влияния атомов, соединенных друг с другом σ - или π -связями, и атомов, между собой непосредственно не связанных. Такое расчленение осуществляется путем применения полуэмпирических методов валентных связей и молекулярных орбиталей и обычно приводит к удовлетворительным результатам в решении задач определения реакционной способности молекул для целей органического синтеза. В значительно большей степени оно эффективно в решении аналитических задач.

В том случае, когда органические реагенты для тех или иных аналитических реакций уже подобраны и представлены набором соединений с одинаковой скелетной основой (например, карбоциклической) или одними и теми же функциональными группами (например, оксихинонами), взаимное влияние атомов, соединенных друг с другом, конкретизируется И. С. Мустафиным как эффект функционально-аналитической (специфической, характерной) группировки, изменение структуры которой, как правило, влечет изменение механизма аналитического взаимодействия и может быть причиной даже

полной дезактивации реактива. Большой научный и практический интерес в таком случае, по мнению И. С. Мустафина, имеет изучение взаимодействия атомов, непосредственно между собой не соединенных, так как знание закономерностей именно этого процесса обещает дать химикам-аналитикам инструмент для наиболее эффективного управления аналитическими качествами органических реактивов.

Для выяснения закономерностей внутримолекулярного взаимодействия атомов, непосредственно друг с другом не связанных, И. С. Мустафин рассмотрел воздействия на аналитический центр пространственно-близких и линейно-отдаленных заместителей в различных оксихинонах бензольного, нафталинового, антраценового и нафтаценового рядов [1, 24, 73, 83]. Изучение аналитических свойств оксихинонов показало, что повышение конденсированности сопровождается увеличением специфичности. В результате введения второй гидроксильной группы в хинонный цикл, уже несущей в α -положении один гидроксил, наблюдалось уменьшение специфичности и резкое увеличение чувствительности³, причем наиболее чувствительными оказываются ди- и триоксихиноны антраценового ряда.

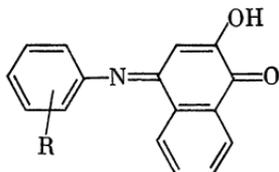
И. С. Мустафин обратил внимание на возможность существенного отличия внутримолекулярных отношений атомов в молекуле аналитической формы⁴ и в молекуле реактива. Так, увеличение числа α -гидроксильных групп в молекуле антрахинона сопровождается резким увеличением его чувствительности к бериллию, в то время как чувствительность на алюминий возрастает незначительно, а на торий — почти не изменяется. Ученый объяснил это тем, что в результате взаимодействия каждого из этих трех ионов с одним кругом однотипных реактивов образуется своеобразный гомологический ряд комплексных соединений, свойства которых отличаются друг от друга как свойства гомологов, аналогов или изологов.

³ Чувствительность, согласно И. С. Мустафину, — это мера способности реактива показывать хорошо фиксируемый аналитический эффект при взаимодействии с искомым веществом. Мерой специфичности реактива, по И. С. Мустафину, является число ионов или веществ, с которыми он аналитически взаимодействует: чем меньше этот круг, тем специфичнее реактив [1, 142, с. 16, 20].

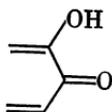
⁴ Под термином «аналитическая форма» подразумевается продукт аналитической реакции, вещество, непосредственно ответственное за аналитический эффект [1, 142, с. 14].

Таким образом, при улучшении аналитических свойств реактива методом перестройки его молекулы, соотносясь с представлением о внутримолекулярном взаимодействии атомов, необходимо учитывать воздействие структурных преобразований как на аналитическую форму, так и на реактив.

На примере изучения 30 различных N-замещенных 2-оксинафтохинон—I, 4-иминов



где R = —H, F, Cl, Br, I, CH₃, COOH, NO₂, NH₂, и др., И. С. Мустафин и сотрудники руководимой им лаборатории рассмотрели влияние на аналитические свойства различных атомов и атомных групп. Рассмотренные заместители, как видно, находятся в весьма отдаленном положении от функционально-аналитического центра:



Нельзя сказать, что в результате этой большой по объему и чрезвычайно кропотливой работы были получены вполне однозначные выводы. Исследователи выяснили, что замена водорода в бензольном цикле молекулы реактива на другие атомы и радикалы, как правило, сопровождается снижением специфичности, чувствительность же таких замещенных далеко не всегда изменяется пропорционально утяжелению молекулы. В случае галогензамещенных они отметили незначительное сужение круга взаимодействующих ионов и увеличение чувствительности с ростом атомного веса галогена. Введение легко гидратирующихся групп сопровождалось уменьшением чувствительности. При одинаковых заместителях орто-изомеры (по отношению к иминному азоту) оказывались более специфичными, а пара-изомеры — более чувствительными. Изучение воздействия заместителей на спектральные характеристики вещества

показало, что сильный позитивирующий ауксохром — $N(CH_3)_2$ является причиной резкого батохромного и заметного гиперхромного эффектов. При одинаковых заместителях наибольший гиперхромный эффект показали пара-изомеры.

Трудности выявления более или менее универсальных закономерностей и даже получения однозначных выводов были исключительно велики. И. С. Мустафин понимал причины этого и неустанно проводил поиски «ключа к замку». В катализе, например, таким ключом должны были стать высокоактивные катализаторы селективного действия, а в аналитической химии — реактивы. Однако даже на проторенных путях увеличения специфичности и чувствительности уже открытых органических реактивов посредством изменения структурных фрагментов, удаленных от аналитического центра, возникали неожиданные препятствия, преодолеть которые мешала недостаточная разработка теории. Чаще всего одна и та же группа атомов в одном случае положительно влияла на аналитический центр, а в другом — оставалась безучастной или даже снижала ценность реактива. Нередко оказывалось, что одно и то же свойство реактива в различных случаях проявлялось и как положительное, и как отрицательное. Так, увеличение специфичности, как это ни странно, приводило к ухудшению реактива, когда он использовался в качестве группового. Порою казалось, что многообразие практических задач, бесчисленные комбинации сопутствующих ионов в исследуемых объектах делают невозможным указание единого критерия оценки реактивов.

Но какими бы трудностями ни сопровождалось исследование, И. С. Мустафин верил в неисчерпаемые возможности эксперимента. Беспрестанные поиски новых аналитических реактивов, а еще в большей степени — совершенствование уже известных позволяли ему накапливать эмпирический материал, который служил не только пассивом, требующим упорядочения, но и активом, подсказывающим пути формирования теорий. Именно в этом направлении были получены важные теоретические результаты, связанные с увеличением молекулярного веса аналитических реактивов, — результаты, с которыми координируется известная в учении о катализе теория агравации (утяжеления).

Проблемы катализа во многом аналогичны проблемам аналитической химии: и там, и здесь уже на протя-

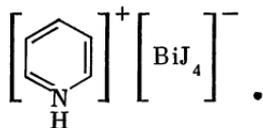
жении почти двух столетий продолжается поиск теоретических основ подбора «ключа к замку», но до универсальных теорий все еще далеко. Как в области катализа, так и в области анализа теории складываются из блоков, лишь в тенденции ведущих к некоторой универсальности. (Недаром И. Я. Берцелиус термин «катализ» ввел, исходя из аналогии с понятием «анализ»⁵.) Одним из таких блоков в области катализа является теория агравации, выдвинутая в 40-х годах Н. И. Кобозевым [II, 17]. Сущность этой теории сводится к утверждению о многократном увеличении активности катализаторов за счет увеличения веса носителя активных центров. Здесь нет возможности говорить об этой теории подробно. Важно подчеркнуть, однако, что она внесла неоценимый вклад в учение о катализе. Достаточно напомнить, что скорость каталитического разложения перекиси водорода ионами железа увеличивается в миллионы (!) раз, если эти ионы войдут в состав гема. Если же они вместе с гемом войдут в состав фермента катализа, то их активность возрастет в миллиарды раз.

Совершенно аналогично формированию теории агравации в катализе происходило развитие теории агравации аналитических реагентов в работах И. С. Мустафина [I, 16, 31, 34, 53, 142]. И. С. Мустафин указывает, что еще на заре становления химии органических реактивов была подмечена зависимость чувствительности аналитических реакций, завершающихся выпадением бесцветного осадка в случае использования однотипных реактивов, от молекулярного веса реактива. Это обстоятельство послужило для него стимулом к исследованию эффекта утяжеления. Этот эффект был рассмотрен на примере реакций открытия меди и молибдена с помощью ксантогенатов, серебра с различными производными тиогликолевой кислоты, а также при изучении органических реактивов типа купферона и испытании некоторых арсоновых кислот как аналитических реактивов [I, 112, с. 72].

Правда, систематическое исследование И. С. Мустафиным эффекта утяжеления показало, что в ряде случаев увеличение молекулярного веса реактива не толь-

⁵ Кузнецов В. И. Развитие учения о катализе. М.: Наука, 1964. С. 36.

ко не сопровождается повышением чувствительности, но даже приводит к ее понижению. Правда, это были именно отдельные случаи, с которыми сталкивался также и Н. И. Кобозев при изучении агравации. И все-таки И. С. Мустафин не прошел мимо таких случаев. Более подробное изучение отрицательного эффекта агравации привело его к выводам, что учитывать следует не просто аддитивное утяжеление реагента, а увеличение веса тех его фрагментов, которые обеспечивают положительный эффект за счет взаимного влияния атомов. Так, с этой целью он рассмотрел реакцию взаимодействия гетероциклических оснований и их *N*-алкилатов с комплексными ионами висмутйодистоводородных кислот [1, 31]. Эта реакция сопровождается выпадением оранжево-красного осадка, химическое строение которого может быть разъяснено на примере пиридинового комплекса:



Таким путем ему удалось проследить зависимость чувствительности взаимодействия иона висмутйодистоводородной кислоты с рядом однотипных реактивов от молекулярного веса последних и, что особенно важно, от места утяжеляющей группы в молекуле. В аналогичные реакции, кроме висмута, может вступить и сурьма, таким образом, у И. С. Мустафина появилась возможность сопоставить наблюдаемые для них закономерности.

И. С. Мустафин показал, что чувствительность открытия висмута и сурьмы с помощью йодистоводородных оснований строго подчиняется зависимости, требуемой эффектом утяжеления, т. е. чувствительность растет с увеличением молекулярного веса реактива, асимптотически приближаясь к некоторому предельному значению. В ряду *N*-алкилатов эффект утяжеления не наблюдается, а максимальная чувствительность достигается *N*-метилатом пиридина, и в дальнейшем ни молекулярный вес основания, ни вес утяжеляющей группы не оказывают заметного влияния на чувствительность. Причем при переходе от основания к его собственному или изомерному *N*-алкилату с ростом

молекулярного веса реактивов существенно сглаживается резкое увеличение чувствительности, характерное для начальных членов гомологического ряда. Нивелирование разницы в чувствительности оснований и *N*-алкилатов свидетельствует о том, что в ряду однотипных органических реактивов, используемых для открытия определенного вещества по данной прописи, существует некоторая предельная чувствительность, которую невозможно превысить без изменения структуры реактива; но изменение последней должно вести к изменению механизма аналитической реакции с вытекающими из этого последствиями.

В ходе дальнейших исследований И. С. Мустафин определил, что группы $-\text{SO}_3\text{H}$, $-\text{COOH}$, $-\text{NH}_2$, $-\text{OH}$, азот, входящий в гетероцикл, и т. д. увеличивают растворимость в воде тех соединений, в молекулы которых они входят. Он полагал, что эти атомные группировки способны координировать молекулы воды и тем самым сообщать соединениям гидрофильный характер, повышать их растворимость, и, следовательно, снижать чувствительность определения.

Вместе с тем сложные и простые эфиры, вторичные и третичные амины, а также *N*-алкилаты гетероцилических азотистых оснований и т. д., как правило, имеют малую растворимость в воде, поэтому введение их функциональных групп, не сольватируемых растворителями, в молекулу аналитического реактива-осадителя приведет к уменьшению его растворимости и, следовательно, к повышению чувствительности реакции осаждения.

На основании обширных экспериментальных исследований И. С. Мустафин пришел к важным выводам, касающимся связи между молекулярным весом однотипных реактивов-осадителей и их чувствительностью [1, 34]. По мнению ученого, увеличение молекулярного веса в ряду однотипных реактивов-осадителей:

1. Не отражается на чувствительности, если форма осаждения, образованная данным ионом и исходным реактивом, практически не растворяется в воде.

2. Сопровождается нормальным эффектом утяжеления, если простейшая форма осаждения заметно растворима в воде, а утяжеляющая группа не является центром координации молекул воды.

3. Может быть причиной аномального повышения чувствительности, если введенный радикал блокирует



И. С. Мустафин читает лекцию по теории действия органических реагентов

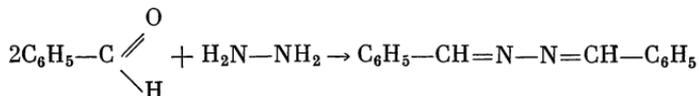
центры координации молекул воды, имевшиеся в молекуле исходного реактива.

4. Может иметь следствием снижение чувствительности реактива, если утяжеляющая группа легко гидратируется.

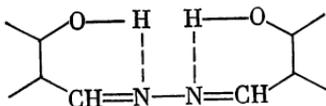
Таким образом, используя при конструировании органических реактивов эффект утяжеления, следует учитывать зависимость аналитической ценности реактива от его молекулярного веса, химической природы утяжеляющей группы и от положения этой группы в молекуле.

Существенным вкладом И. С. Мустафина в аналитическую химию следует считать и результаты его исследований, связанные с комплексообразованием за счет водородных связей. Исследуя самые различные типы органических реактивов, И. С. Мустафин обратил внимание на то, что среди однотипных реактивов наиболее чувствительным является тот, который обеспечивает наибольшее число возможных водородных связей в молекуле аналитической формы [I, 27, 36].

Весьма любопытные данные он получил при исследовании аналитических характеристик альдазиновой реакции — взаимодействия гидразина с различными ароматическими альдегидами:

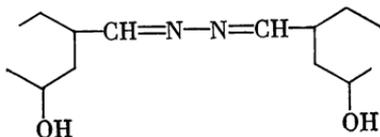


Оказалось, что салициловый и β-оксинафтойный альдегиды, обеспечивающие по две внутренних водородных связи в результирующей реакции альдазине

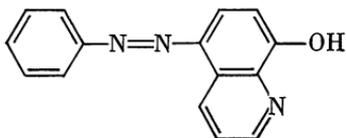


позволяют открыть гидразин при предельном разбавлении 1:13600. В то же время бензойный альдегид в 10 раз, а метаоксибензальдегид в 550 раз менее чувствительно реагирует с гидразином.

Такое резкое снижение чувствительности метаоксибензальдегида по сравнению с другими альдегидами, по предположению И. С. Мустафина, является результатом проявления обращенного эффекта утяжеления и связано с наличием в молекуле образующегося при этом альдазина двух гидроксильных групп — центров координации молекул воды:



Возрастание чувствительности аналитических реакций с увеличением числа внутренних водородных связей в молекуле конечного продукта И. С. Мустафин наблюдал при испытании нитрозооксидисульфокислот нафталина как реактивов на медь и кобальт, феназоксина



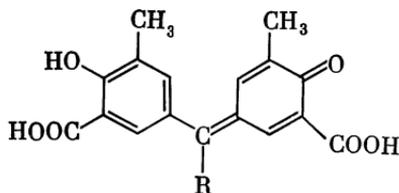
и его производных в качестве реактивов на медь, железо и палладий; при открытии нитрит-иона по реакции Грисса, где аналитической формой являются азокрасители; при изучении индикаторных свойств некоторых веществ и т. д. Работы И. С. Мустафина показали, какое важное значение для аналитической химии имеет специфическое внутримолекулярное взаимодействие атомов, приводящее к возникновению внутренних водородных связей в молекуле аналитической формы. И. С. Мустафин подчеркивал, что гетероциклы, замкнутые водородной связью в молекуле конечного продукта реакции, представляются универсальными аналитико-активными группами, улучшающими эффект колориметрических реакций и реакций, завершающихся выпадением нерастворимого в воде осадка. Опираясь на исследования И. С. Мустафина, посвященные внутримолекулярному влиянию атомов и радикалов на аналитический центр, действию эффекта утяжеления, орто-эффекта, советские аналитики предложили многие новые органические реактивы, которые характеризуются высокой чувствительностью и специфичностью.

Вместе со своими учениками и сотрудниками И. С. Мустафин проводил огромную экспериментальную работу по синтезу и поиску новых эффективных реактивов на неорганические ионы. При этом велась эта работа в трех направлениях: накопление эмпирического материала для развития теории; практическая апробация выдвинутых теоретических положений; практическое использование результатов для нужд производства.

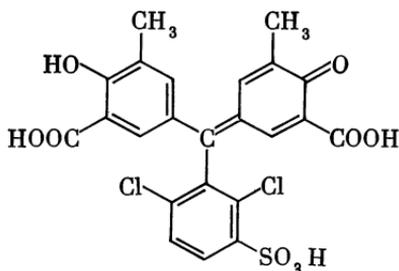
И. С. Мустафин одним из первых обратился к исследованию хорошо известных в настоящее время и широко используемых ныне орто-фенолкарбоновых кислот трифенилметанового ряда. При выборе именно этих соединений он руководствовался теоретическими соображениями о характерных группировках, предполагая, что эти красители обладают большой склонностью к взаимодействию со многими катионами, причем эти реакции должны сопровождаться ярким колористическим эффектом.

Фенолкарбоновые кислоты трифенилметанового ряда в промышленности красящих веществ, из которой они пришли в аналитику, часто называют хромоксановыми красителями.

Их структуру можно изобразить следующим образом:



Исследования, проведенные И. С. Мустафиным, показали, что аналитические реакции, в которые вступают эти соединения, действительно отличаются высокой чувствительностью, характеризующейся предельным разбавлением порядка 10^{-6} – 10^{-7} . При систематическом изучении хромоксана чисто-голубого БЛД было уста-



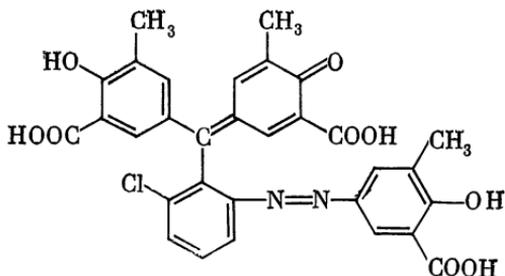
новлено, что он с особенно высокой чувствительностью (0,025 мкг/мл) взаимодействует с ионами алюминия и бериллия. Взаимодействие с алюминием протекает в широком интервале рН (от 2,9 до 7,1) с образованием устойчивых в течение длительного промежутка времени, хорошо растворимых продуктов, окрашенных в фиолетовый цвет ($\epsilon_{\text{мол}}=3,2 \cdot 10^4$). На основании проведенных исследований был разработан колориметрический метод определения алюминия, который применен для определения последнего в сплавах черных и цветных металлов в широком диапазоне его содержания без отделения сопутствующих элементов.

Кроме того, И. С. Мустафин с помощью этого же реактива успешно решил еще одну важную практическую задачу — разработал метод открытия алюминия в присутствии бериллия и бериллия в присутствии алюминия, основанный на различном отношении окрашенных комплексов этих металлов к действию сильных минеральных кислот и к раствору комплексона III. Этот ме-

тод, успешно используемый для открытия алюминия и бериллия в сплавах цветных металлов [I, 45], апробирован на многих промышленных предприятиях и внедрен в заводских лабораториях. В практику химического анализа этот реактив вошел под названием, данным ему И. С. Мустафиным,— альберон. Такое название прекрасно отражает суть этого реактива, позволяющего определить алюминий и бериллий в различных объектах.

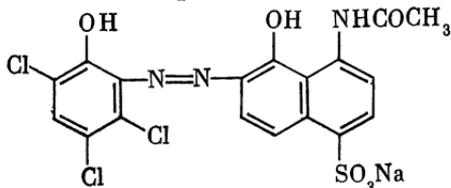
Альберон оказался чрезвычайно полезным для геологов: он позволял проводить открытие бериллия в минералах и горных породах непосредственно в полевых условиях [I, 40]. Для этого И. С. Мустафин предложил оригинальный способ разложения минерала, основанный на смешивании его с гранитом и с последующим сплавлением смеси с содой и поташом. Этот способ позволяет вскрывать бериллийсодержащие минералы при более низких, чем обычно, температурах, не требует большой затраты времени и обеспечивает полное разложение минерала. Кроме того, исключается необходимость работы с такими веществами, как плавиковая кислота, бифторид калия и др.

Дальнейшее исследование трифенилметановых соединений показало, что многие из них обладают свойствами комплексонометрических индикаторов. Механизм индикаторного действия этих соединений И. С. Мустафин объяснял тем, что они в тех или иных условиях взаимодействуют с достаточно высокой чувствительностью со многими катионами, образуя яркоокрашенные соединения, менее прочные, чем соединения этих катионов с комплексонами, в частности с трилоном Б. При титровании исследуемой системы раствором комплексона в присутствии изучаемых красителей в момент достижения эквивалентности, когда весь катион оказывается связанным в прочное соединение с комплексоном, продукт взаимодействия катиона с индикатором разрушается и титруемый раствор принимает окраску, характерную для свободного красителя. Отдельные хромоксановые красители были предложены И. С. Мустафиным в качестве трилонометрических индикаторов при определении магния, кальция, тория, никеля, меди, ванадия и других ионов. Наибольшее распространение среди этих трилонометрических индикаторов получил краситель хромоксан зеленый ГГ, имеющий азотрифенилметановую структуру:



Этот краситель был использован И. С. Мустафиным для комплексонометрического определения суммы кальция и магния в природных водах, рассолах, силикатных и карбонатных горных породах [1, 42]. Хромоксан зеленый ГГ оказался рН-индикатором, его водный раствор при изменении кислотности отчетливо меняет свою окраску, становясь при рН 1—6 красного цвета, рН 6—7 — коричневого и рН 7—11 — ярко-зеленого цвета. С ионом магния хромоксан зеленый ГГ образует соединение, окрашенное в ярко-красный цвет. Реакция отличается высокой чувствительностью, открываемый минимум равняется 0,025 мкг/мл. При титровании с этим реактивом до точки эквивалентности титруемый раствор имеет красную окраску, вблизи этой точки она становится розовой и в точке эквивалентности резко изменяется на зеленую; одна капля 0,01N раствора комплексона III вызывает указанное изменение окраски. Вскоре завод им. Войкова приступил к выпуску красителя хромоксана зеленого ГГ, предложенного И. С. Мустафиным в качестве аналитического реагента.

Дальнейшее исследование в области комплексонометрических индикаторов на магний и кальций И. С. Мустафин проводил вместе со своей ученицей Е. С. Кручковой (ныне доцентом Башкирского государственного университета). Им удалось показать, что еще более чувствительными, а в ряде случаев и более специфичными реактивами на магний и кальций являются некоторые азокрасители. Наиболее перспективным среди них оказался краситель кислотный однохром синий-3:





И. С. Мустафин и аспирантка Е. С. Кручкова, 1959

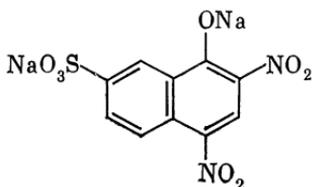
Однако переход его окраски не отличался большой отчетливостью и сводился к изменению фиолетово-синей окраски раствора красителя на малиновую в присутствии ионов магния или кальция.

Для улучшения визуальной наблюдаемой контрастности перехода при титровании И. С. Мустафин предложил использовать разработанный им метод внутренних светофильтров. Суть этого метода заключалась во введении в реакционную систему так называемых внутренних светофильтров — красителей, которые позволяли улучшить резкость перехода окраски в точке эквивалентности и, таким образом, повысить чувствительность объемных определений. Так, если при объемном титровании наблюдается малоконтрастный переход окраски из фиолетово-синей в малиновую, то в присутствии внутреннего светофильтра, красителя желтого цвета, можно наблюдать уже более резкий переход окраски из зеленой в красную.

Внутренние светофильтры, по определению И. С. Мустафина [1, 50], — это красители, которые не обладают свойствами кислотно-основных индикаторов и усиливают контрастность перехода окраски в ходе титрования. При знакомстве с работами И. С. Мустафина, посвященными индикаторам с внутренними светофильтрами, не-

вольно восхищаешься научной прозорливостью ученого, сумевшего сделать из этих частных работ столь далеко идущие выводы. Ведь в них, по существу, были заложены идеи, давшие начало первому этапу в становлении химии смешанных комплексных соединений. Варьирование состава смешанных индикаторов позволяет не только получать, но и целенаправленно влиять на свойства образуемых смешанных комплексов. А последнее позволяло затем оптимизировать многие аналитические методы обнаружения искомых объектов. Впоследствии ученица И. С. Мустафина, профессор Р. К. Чернова, провела систематическое исследование аналитических систем, в которых вторым реактивом являлись различные поверхностно-активные вещества [11, 18]. При этом она показала, что их использование «позволяет в ряде случаев достигнуть максимальных значений чувствительности аналитических определений, рассчитанных И. С. Мустафиным».

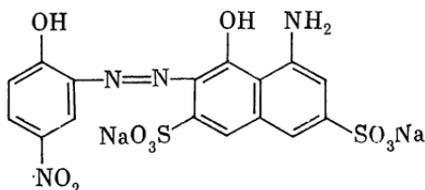
Первый индикатор с внутренним светофильтром — гидрон-1 представляет собой смесь двух реактивов — индикатора кислотного однохрома синего-3 и красителя нафтолового желтого, имеющего строение



и выполняющего роль внутреннего светофильтра. Гидрон-1 в щелочной среде окрашивает раствор в зеленый цвет; в присутствии ионов кальция и магния окраска раствора мгновенно меняется на красную. Гидрон-1 был значительно чувствительнее к ионам кальция и магния, нежели все другие известные к тому времени индикаторы. С его помощью обнаруживают до 0,012 мкг/мл ионов кальция и магния, что в восемь раз превышает чувствительность эриохрома черного Т. Индикатор И. С. Мустафина не имеет белковой, спиртовой и температурной «ошибок», характеризуется хорошей обратимостью индикаторного перехода. Гидрон-1 оказался, как это и предвидел И. С. Мустафин, одним из лучших индикаторов для трилометрического определения общей жесткости вод различной минерализации,

включая маломинерализованные и конденсатные воды. Именно поэтому И. С. Мустафин и назвал его гидроном-I.

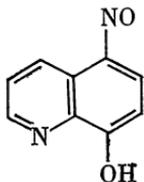
Вскоре И. С. Мустафин предложил еще один новый комплексонометрический индикатор с внутренним светофильтром — гидрон-II, позволяющий определять кальций в присутствии магния [I, 65]. Гидрон-II состоит из активного индикаторного вещества кислотного хром темно-зеленого-Ж



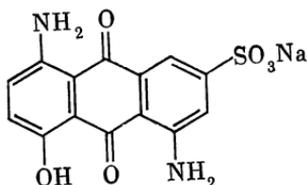
и внутреннего светофильтра нафтолового желтого. При титровании кальция раствором комплексона с применением гидрона-II окраска контрастно изменяется от розовой до зеленой. Индикатор взаимодействует с ионами кальция с высокой чувствительностью (0,1 мкг/мл). С помощью гидрона-II можно проводить титрование кальция в присутствии значительного количества магния, более того, присутствие ионов магния даже улучшает индикаторный переход.

Индикаторы И. С. Мустафина нашли широкое применение в практике определения общей и кальциевой жесткости вод. Кроме того, они были апробированы при комплексонометрическом титровании кальция и магния в разнообразных горных породах с широким диапазоном содержания определяемых компонентов (известняки, доломиты, силикаты). Анализ обычно проводится по единой схеме, предложенной И. С. Мустафиным, при этом варьируется только способ переведения горных пород в раствор. После растворения навески и осаждения полуторных окислов комплексонометрически определяется сумма магния и кальция с гидроном-I, а затем — содержание кальция в присутствии гидрона-II. Кроме того, гидрон-II используется для определения кальция в пегматитах [I, 82], фосфатном сырье, содержащем магний, удобрениях, полученных из этого сырья [II, 19], в пищевой соли [II, 20] и т. д.

В 1964 г. И. С. Мустафин и его ученица О. В. Сиванова (впоследствии декан химфака и заведующая кафедрой неорганической химии Саратовского университета) разработали еще один индикатор гидронной серии — гидрон-III [I, 105]. В качестве активного вещества в гидроне-III выступает 5-нитрозо-8-оксихинолин



образующий с ртутью (II) растворимое в воде комплексное соединение, которое окрашивает раствор в красный цвет. Светофильтром в гидроне-III является краситель кислотный синий антрахиноновый



Гидрон-III широко применяется в практике меркуриметрического определения галогенидов, при анализе бетона, грунта, почв, при нахождении суммарного содержания хлоридов, роданидов, цианидов в пробах промышленных вод.

В течение многих лет внимание И. С. Мустафина привлекали редокс-индикаторы⁶, используемые в аналитических окислительно-восстановительных методах титрования. В редокс-системе устанавливается равновесие между окисленной и восстановленной формами индикаторного вещества, обладающими различной окраской. Для определения количества электронов, принимающих участие в реакциях окисления — восстановления, И. С. Мустафин и Н. С. Фрумина предложили оригинальный метод, основанный на признании того, что скорость химической реакции $xA + yB \rightarrow x'A' + y'B'$ достигает максимума при равенстве отношений кон-

⁶ Слово «редокс» произошло от слияния начальных слогов двух английских слов: reduction — восстановление и oxidation — окисление.

центраций реагирующих веществ (C_A, C_B) и стехиометрических коэффициентов (x, y) реакции, т. е.

$$\frac{x}{y} = \frac{C_A}{C_B}, \text{ если } C_A + C_B = \text{const.} \quad (2)$$

В этой реакции, как и в других редокс-реакциях, суммарное число электронов, участвующих со стороны партнера A , равно таковому со стороны партнера B , т. е.

$$x \cdot Z_A = y \cdot Z_B, \quad (3)$$

где Z_A и Z_B — электроны донора и акцептора, принимающие участие в реакции.

Из сопоставления уравнений (2) и (3) авторы получили уравнение

$$C_B \cdot Z_B = C_A \cdot Z_A, \quad (4)$$

которое связывает количество электронов, участвующих в редокс-реакции со стороны обоих партнеров, с молярной концентрацией реагирующих веществ.

Этот метод широко используется при исследовании всевозможных редокс-реакций в кислых и щелочных средах.

Для характеристики реактива, взаимодействующего по механизму окисления—восстановления, большое значение имеет его нормальный редокс-потенциал (E). И. С. Мустафин провел систематическое исследование влияния структуры вещества на величину E [1, 58, 66, 138]. Анализ большого экспериментального материала по дифениламину и его производным показал, что введение электронофильного заместителя в одно из бензольных колец приводит к сильному увеличению редокс-потенциала вещества и одновременно — к гипохромному эффекту и гипсохромному сдвигу. При введении второго электронофильного заместителя в противоположное бензольное кольцо восстанавливается симметрия молекулы и еще больше возрастает редокс-потенциал молекулы. Электронодонорные заместители в орто-положении незначительно уменьшают редокс-потенциал молекулы и одновременно вызывают значительные батохромные и гиперхромные эффекты. Особенно сильное действие производит метоксигруппа. По мере удаления электронодонорного заместителя от аминного азота производимое им батохромное действие усиливается, но в той же последовательности уменьшается интенсивность окраски и стабильность апалитической формы.

Основываясь на результатах эксперимента и собственных расчетах, И. С. Мустафин и Н. С. Фрумина синтезировали новый высокочувствительный окислительно-восстановительный индикатор — дифенилдианизидин — 2,2'-дикарбоновая кислота, предназначенный для редокс-определений в щелочной среде [1, 58]. Назвав новый индикатор редоксалом, авторы тем самым попытались указать на область и условия применения этого реактива.

Редоксал — надежный и хорошо известный аналитикам окислительно-восстановительный индикатор. Он используется для определения четырехвалентного ванадия при помощи феррицианида калия. При этом важно отметить, что перевод ванадия в четырехвалентное состояние производится путем нагревания до кипения смеси раствора ванадата аммония с тартратом калия — натрия, а образующееся в результате этого комплексное соединение четырехвалентного ванадия очень устойчиво в сильнощелочных растворах. Поэтому особенно широко этим методом пользуются при определении ванадия в сплавах на железной основе и при анализе горных пород. Причем в настоящее время ванадий определяется в растворах, полученных после выщелачивания сплавов без выделения кремниевой кислоты.

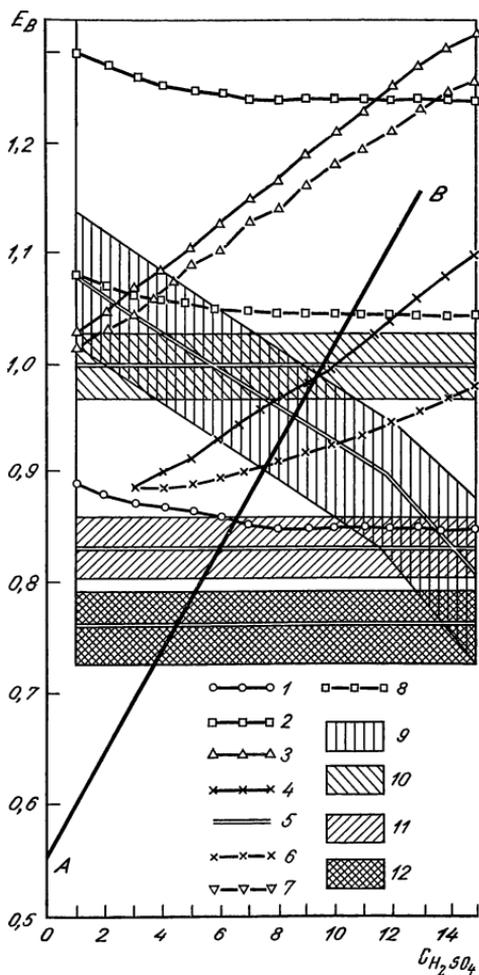
Для нахождения оптимальных физико-химических условий применения редокс-индикатора в комбинации с той или иной редокс-парой И. С. Мустафин и Н. С. Фрумина предложили метод геометрического моделирования объемных редокс-реакций, при котором в широком интервале кислотности рассматриваются соотношения потенциалов всех присутствующих в растворе редокс-систем в области скачка титрования [1, 75, 155]. Нельзя не отметить, что этот метод, так же как и весь в целом подход к решению названной задачи, близок по своей идейной направленности к геометрическим моделям физико-химического анализа Н. С. Курнакова.

Моделирование объемных редокс-реакций, по заключению И. С. Мустафина, целесообразно проводить в координатах: потенциал — нормальность кислотной среды. В данной системе координат скачок потенциала редокс-пары и интервал перехода индикатора представляются в виде некоторых площадей, взаимные отношения которых характеризуют возможность практического проведения титрования и ошибки анализа.

Метод геометрического моделирования, предложенный Мустафиним (см. рисунок), позволяет не только определить условия применения индикаторов, но и предсказать знак и величину отклонения аналитических результатов от истинных значений определяемых величин. Для определения окислителей и восстановителей необходимо, чтобы площадь перехода индикатора находилась внутри площади скачка потенциала при $\lg \frac{[\text{окс}]}{[\text{вос}]} = \pm 3$, т. е. при избытке окислителя и восстановителя в 0,1%.

Площади скачков титрования наиболее распространенных редокс-пар и площади перехода некоторых редокс-индикаторов

- 1 — линии потенциала систем — $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$;
 - 2 — $\text{Ce}^{4+}/\text{Ce}^{3+}$;
 - 3 — $\text{Cr}^{6+}/\text{Cr}^{3+}$;
 - 4 — $\text{V}^{5+}/\text{V}^{4+}$;
 - 5 — линия перехода индикатора; линии эквивалентности редокс-пар;
 - 6 — $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+} - \text{V}^{5+}/\text{V}^{4+}$;
 - 7 — $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+} - \text{Cr}^{6+}/\text{Cr}^{3+}$;
 - 8 — $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+} - \text{Ce}^{4+}/\text{Ce}^{3+}$;
 - 9 — ферроина;
 - 10 — фенилантралиновой кислоты;
 - 11 — дифениламинсульфо-кислоты;
 - 12 — дифениламина
- AB — линия критической кислотности.



И. С. Мустафин и его сотрудники пришли к выводу, что положение линии эквивалентности (проекция точки эквивалентности в широком диапазоне кислотности) относительно площади перехода индикатора, если последняя совпадает с площадью скачка потенциала, практически не сказывается на точности получаемых результатов. Здесь можно видеть аналогию между редокс-индикаторами и индикаторами метода насыщения. При титровании растворов сильных кислот и щелочей могут применяться многие индикаторные вещества, несмотря на их так называемые «водородные» и «гидроксильные» ошибки, обусловленные тем, что pH индикатора более или менее отличается от 7. Было найдено далее, что точность работы индикаторов, потенциал которых низок, зависит в основном от редокс-потенциала системы восстановителя. Если площадь перехода такого индикатора не совпадает с площадью скачка потенциала, результаты титрования, как правило, получаются заниженными при определении восстановителя и завышенными при определении окислителя. Индикаторы с высоким редокс-потенциалом при тех же обстоятельствах показывают завышенные данные при определении восстановителя и заниженные — при определении окислителя.

Для каждого отдельного индикатора дифениламинового ряда существует определенная кислотность, выше которой резко увеличиваются ошибки титрования, несмотря на явно благоприятные соотношения площадей потенциалов в точке эквивалентности всех присутствующих в растворе редокс-систем. И. С. Мустафин обнаружил границу кислотности среды, выше которой индикатор перестает подчиняться рассмотренным закономерностям. Эта граница была названа критической кислотностью данного индикатора [1, 180].

Экспериментальные исследования показали, что для веществ дифениламинового ряда критическая кислотность тем выше, чем больше нормальный редокс-потенциал вещества. В общем виде зависимость критической кислотности от редокс-потенциала индикаторной системы выражается уравнением, предложенным И. С. Мустафиным:

$$E = 0,56 + 0,043H,$$

где H — критическая кислотность в нормальностях серной кислоты.

На основании метода геометрического моделирования



И. С. Мустафин ведет семинар по теории редоксометрии, 1957 г.

объемных редокс-реакций И. С. Мустафина можно говорить о том, что дифениламин в отсутствие комплексообразователей непригоден для титрования солей закиси железа сильными окислителями вне зависимости от природы применяемой подкисляющей кислоты. Окислители можно определять в присутствии дифениламина в солянокислой среде, причем интервал оптимальной кислотности с увеличением редокс-потенциала окислителя резко сужается (для ванадата 1–7 н HCl; бихромата 5–6 н HCl, сульфата церия 1 н HCl).

Дифениламинсульфокислота дает удовлетворительные результаты при определении двухвалентного железа в узком интервале кислотности, причем и в этом случае «сила» окислителя оказывает влияние на точность метода. Так, в ванадатометрии определения возможны как в сернокислой (4–5 н H_2SO_4), так и в солянокислой (4–5 н HCl) средах, в бихроматометрии — только в солянокислой среде (1–5 н HCl); в цериметрии проведение анализа невозможно.

Определения окислителей с дифениламинсульфокислотой дают правильные результаты в узком интервале

кислотности в сернокислой среде (для ванадата 2—4 н H_2SO_4 ; бихромата 1—3 н H_2SO_4 ; церисульфата 1—5 н H_2SO_4) и в более широком — в солянокислой среде (для ванадата 4—8 н HCl ; бихромата 1—7 н HCl ; церисульфата 1—2 н HCl).

Фенилантраниловая кислота является наиболее подходящим индикатором для титрования системы ферри—ферро сильными окислителями. Определения с этим индикатором возможны в широком диапазоне кислотности. Например, в цериметрии и в бихроматометрии можно работать при любой кислотности, начиная с 1—2 н по серной кислоте и кончая критической кислотностью, которая для фенилантраниловой кислоты соответствует ~ 10 н серной кислоте. При использовании в качестве рабочего раствора ванадата аммония необходима кислотность среды не ниже 5 н по серной кислоте.

Метод геометрического моделирования И. С. Мустафина позволяет химикам заранее предвидеть оптимальные условия проведения аналитических редокс-реакций. В ходе изучения теоретических вопросов редоксометрии И. С. Мустафин и его ученики (Н. С. Фрумина, М. Л. Никурашина, Е. Г. Трегуб и др.) разработали методы решения целого ряда частных аналитических задач. При этом они:

предложили новый метод определения активного кислорода в металлокерамических никелевых электродах (положительная пластина щелочного аккумулятора). Во избежание взаимодействия высших окислов никеля с металлической фазой выделение активного кислорода производилось в щелочной среде по реакции с солями трехвалентного хрома. Образующийся в результате этого хромат (в количестве, эквивалентном содержанию активного кислорода в объекте) определяется после подкисления профильтрованного раствора титрованием солью Мора в присутствии фенилантраниловой кислоты [I, 68];

показали возможность количественного определения четырехвалентного ванадия в щелочной среде титрованием раствором феррицианида калия. Переведение ванадия в четырехвалентное состояние производилось путем нагревания до кипения смеси раствора ванадата аммония с тартратом калия-натрия. Образующееся при этом комплексное соединение четырехвалентного ванадия устойчиво в сильнощелочных растворах. Ванадий определялся с помощью редоксала [I, 66];

разработали колориметрический метод определения феррицианидов на фоне ферроцианидов. В основе метода лежит цветная реакция окисления дифенилтолидин — 2,2'-дикарбоновой кислоты феррицианидом калия в щелочной среде. Особенно важно отметить, что сильные окислители (за исключением гипогалогенит-ионов) не мешают определению [1, 58];

решили проблему отдельного колориметрического определения бромат- и йодат-ионов, основанного на способности дифенилбензидин-2,2'-дикарбоновой кислоты избирательно реагировать с бромат и йодат-ионами в зависимости от кислотности среды [1, 58];

установили, что замещенные фенилантраниловой кислоты, имеющие электроноакцепторные заместители (нитро-, сульфо- и карбоксильные группы), являются хорошими окислительно-восстановительными индикаторами для титрования в сильноокислых средах и при использовании сверхсильных окислителей (соли четырехвалентного церия в хлорнокислой среде). Новая группа индикаторов в широком интервале кислотности сохраняет постоянное довольно высокое (около 0,95 в) значение окислительно-восстановительного потенциала. В частности, И. С. Мустафин показал, что эти реагенты перспективны в качестве индикаторов для титрования избытка окислителя в методах «мокрого сжигания». На их основе разработаны методики определения полиэтоксиамина и полиэтиленгликоля, применяемых в качестве модификаторов в осадительных ваннах при производстве вискозного волокна, а также методики определения органического углерода в почвах [1, 145, 161, 198];

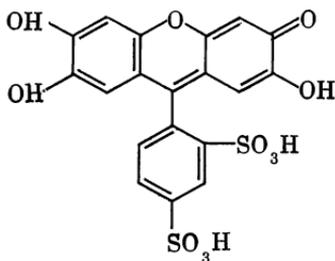
создали новый окислительно-восстановительный реагент, названный И. С. Мустафиным «ванадокс» (2-карбоксихлорфенилантраниловая кислота), для фотометрического определения ванадия в высоколегированных сталях, жаропрочных сплавах, титаномангнетитовых рудах [1, 188].

И. С. Мустафина всегда привлекали поиски в области аналитической химии металлов, имеющих особое значение для новой техники тех, что несколько вольно называют «экзотическими». Так, ученый провел большую работу по разработке фотометрического метода нахождения тория в смеси карбонатов кальция, стронция и бария [1, 59], получил интересные результаты при поиске методов определения палладия с реактивом тиосемикарбазон 5-хлорфурилакroleина, который был спе-

циально для этого синтезирован. Любопытно, что в этой работе изучались «невидимые» комплексы [I, 158, 201], светопоглощение которых измерялось в ультрафиолетовой части спектра (380—430 нм). Установив оптимальные условия, И. С. Мустафин создал метод определения палладия при его концентрации $2 \cdot 10^{-6}$ — $2 \cdot 10^{-5}$ моль/л [I, 201].

Не будучи удовлетворенным существующими колориметрическими методами определения ниобия, И. С. Мустафин предложил новый вариант роданидного метода, разработанного академиком И. П. Алимариным и его сотрудниками, с устранением предварительного отделения ниобия. В качестве колориметрического реактива И. С. Мустафин использовал ализарин S, апробированный им на объектах, содержащих ниобий [I, 48].

Очень внимательно исследовал И. С. Мустафин реактивы на титан. Он отмечал, что предложенные производные оксифлуоронов, пирогаллол и другие обладают высокой чувствительностью, но избирательность их оставляет желать много лучшего. Экстракционно-фотометрические методы, основанные на применении тройных комплексов титана, к сожалению, требовали предварительного отделения ряда элементов. Анализ литературных данных, специально проведенные расчеты и экспериментальные исследования позволили И. С. Мустафину предположить, что хорошим аналитическим реактивом на титан может явиться реактив следующего строения:



Этот реактив (9-(2,4-дисульфофенил)–2,3,7-триокси–6-флуорон) был синтезирован И. С. Мустафиным и получил название дисульфофенилфлуорон [I, 54]. По внешнему виду он представляет собой оранжевый мелкокристаллический порошок, хорошо растворимый в воде и буферных растворах. По спектрофотометриче-

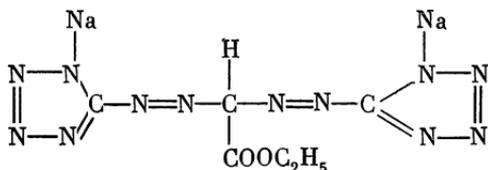
ской чувствительности к титану и германию этот реактив значительно превосходит наиболее часто используемые фенилфлуорон и нитрофенилфлуорон: при его применении поглощение реактива не накладывается на поглощение титанового и германиевого комплекса, как это имеет место в случае с фенилфлуороном. Дисульфобензилфлуорон позволяет определять титан и германий в слабокислых растворах (рН 4—6 и рН 0,7—5 соответственно).

Безусловный интерес представляют работы И. С. Мустафина, посвященные аналитической химии циркония — металла, широко используемого в различных областях техники. И. С. Мустафин и В. С. Щукина испытали более 300 органических соединений на их аналитическое взаимодействие с цирконием. Оказалось, что по чувствительности определения азокрасители превосходят оксиантрахиноновые, но уступают трифенилметановым, реакция с которыми в сильнокислой среде отличается контрастностью окраски. Исследователи выявили возможность использования альберона для фотометрического определения микрограммовых количеств циркония и разработали быстрый и достаточно точный метод для анализа алюминиевых и медных лигатур [I, 126]. Для отдельных случаев определения циркония в объектах они рекомендовали и другие реактивы: 1-амино-4-оксиантрахинон-2-сульфокислота и арсеназо III [I, 126].

Кроме того, И. С. Мустафин предложил новый реактив на цирконий, названный им цирконином [I, 136]. Результаты анализов с помощью циркониона были впечатляющими, причем технически работать с новым реактивом оказалось значительно проще, нежели с другими. Циркониин позволил разработать целый ряд методик определения циркония прямым колориметрированием без отделения и маскировки сопутствующих элементов в алюминиевых, магниевых, медных, никелевых сплавах.

В 60-е годы главным объектом спектрофотометрического исследования повсеместно были соединения трифенилметанового ряда и азокрасители. Органическим соединениям других типов уделялось гораздо меньше внимания, во всяком случае, в колориметрии и спектрофотометрии. В 1962 г. И. С. Мустафин заинтересовался реактивом, несколько отличающимся по своему строению от обоих упомянутых групп, но, по словам ученого,

несущим в себе отзвук структуры тех и других. Этим реактивом был бис-(4-натрийтетразолилazo-5)-этилацетат



И. С. Мустафин приступил к развернутому изучению этого реактива и, чтобы «не загромождать язык», обозначил его кратко «тетра» [1, 114, 128, 137, 140, 149, 163, 187]. В молекуле тетра центральный атом углерода соединен через азо-группы с двумя тетразолил-радикалами и этилкарбоксылным радикалом, который, как известно, является сильным электрофильным заместителем и способствует созданию положительного заряда на центральном атоме углерода. Вероятно, поэтому в большинстве случаев процесс комплексобразования у тетра сопровождается значительными батохромными сдвигами, причем эти сдвиги в сильной степени зависят от природы катиона.

Новый реактив не отличался селективностью, он образовывал комплексы с цинком, ртутью, кадмием, свинцом, медью, кобальтом, никелем и другими металлами. И тем не менее с его помощью оказалось возможным достигнуть большой избирательности определения. Его особенностью было то, что одни комплексы при изменении кислотности среды разрушались, а другие оставались прочными. Но главным являлось то, что различные ионы, взаимодействуя с тетра, давали соединения с разной окраской. Так, никель и кобальт, обычно мешающие друг другу в анализе, образовывали комплексы с новым реактивом, окрашенные соответственно в синий и красный цвета. Представилась возможность определять их при совместном присутствии, не прибегая к разделению или маскировке. Железо, как трехвалентное, так и двухвалентное, образовывало с реактивом высокопрочные комплексы коричневого цвета с практически равными коэффициентами молярного погашения, что позволило сразу определять его суммарно, не пользуясь восстановителями или окислителями.

Большая прочность железных комплексов с тетра позволила применять его в качестве маскирующего агента при определении алюминия. С палладием тетра образовывал ряд соединений, среди которых выделялся устойчивый комплекс зеленого цвета. Фотометрическому определению палладия, как оказалось, не мешает присутствие золота и металлов платиновой группы — осмия и иридия, а также рутения и родия.

Прекрасно зарекомендовал себя тетра в качестве комплексонометрического индикатора при определении меди. Титрование меди в присутствии тетра можно проводить в широком интервале кислотности среды (рН 1—8) на фоне ацетатов, уксусной кислоты, буферных смесей различного состава, определению меди не мешают алюминий, марганец, небольшие количества (не превышающие 2,5 мг/л) цинка, свинца, железа, кобальта, никеля.

Так ученым были раскрыты замечательные достоинства бис-(4-натрийтетразолилазо-5)-этилацетата, благодаря которым этот реактив начал широкую жизнь в заводских лабораториях.

Историки, сопоставляя картины экономической жизни российских городов в начале века, пришли к заключению, что по темпам развития Саратов стоит на четвертом месте после Петербурга, Одессы и Харькова. Первые два необычайно быстро развивались потому, что стали «окнами в Европу», Харьков же — как «житница России». Что касается Саратова, то его бурному развитию послужило то обстоятельство, что он стал перевалочным пунктом транспортировки соли с Эльтонского озера, своеобразными «соляными воротами России». Такое значение Саратов утратил уже после проведения железной дороги на Астрахань. Центр же соляных разработок переместился на оз. Баскунчак, которое и сейчас образно называют «Всесоюзной солонкой».

Анализами рапы озер Баскунчак и Эльтон саратовские химики под руководством И. С. Мустафина занимались много и плодотворно. Работники Нижневолжского геологического управления, а также Астраханской опытно-методической партии неоднократно обращались к И. С. Мустафину за различными консультациями и советами, обсуждали с ним всевозможные вопросы, касающиеся состава рапы и ее практиче-

ского использования. Совместные работы химиков и геологов велись на протяжении нескольких лет. После успешного завершения исследований саратовские аналитики сделали важные народнохозяйственные заключения и произвели переоценку запасов оз. Баскунчак.

К концу 50 — началу 60-х годов число предлагаемых новых аналитических реактивов перевалило за тысячу и продолжало расти. В связи с этим возникла настоятельная необходимость в создании своего рода «компас», с помощью которого можно было бы разбираться в этом «море реактивов» при решении новых задач, не переворачивая для этого «многопудье» реферативного журнала. Было решено выявить оптимальный круг органических реактивов, который целесообразнее всего использовать в анализе тех или иных элементов. Сделать это оказалось не так-то просто. Необходимо было проанализировать горы научной литературы за много лет, разобраться во всех предложенных методах и последующих критических замечаниях, рассмотреть область применения каждого реактива, сопоставить их и проверить все экспериментально.

Решение этой важнейшей научной и практической задачи было поручено ведущим аналитическим центрам страны — Институту химических реактивов и особо чистых веществ (ИРЕА) и кафедрам аналитической химии Московского, Киевского, Саратовского университетов и Института тонкой химической технологии. Одним из координаторов всех работ стал И. С. Мустафин. Итогом кропотливых исследований, проведенных учеными-химиками Москвы, Киева и Саратова, явилась публикация серии книг «Органические реактивы для определения неорганических ионов» под редакцией профессора И. С. Мустафина [1, 150—154, 172—178, 189—193, 196—200, 202—204].

Следует подчеркнуть, что все реактивы, предложенные для определения того или иного иона, подвергались обсуждению на научных конференциях, совещаниях и семинарах. Из большого числа соединений было выбрано около 200 наиболее эффективных аналитических реактивов, которые обеспечивают возможность определения 78 элементов с наибольшей точностью и быстротой при максимально возможной простоте анализа. Круг реактивов, рекомендуемый для определения ионов, по-



Коллектив кафедры и отделения аналитической химии НИИХимии Саратовского государственного университета.

Слева направо: в первом ряду — А. Н. Новикова, А. В. Трофимова, В. С. Ковалева, К. Г. Петрикова, Н. П. Макарова, Л. А. Аграновская; во втором ряду — В. П. Милин, А. Г. Ковалева, В. Н. Ленская, И. С. Мустафин, Н. В. Чугреева, Н. К. Немкова; в третьем ряду — Н. И. Давыдова, Е. А. Кашковская, А. Н. Иванова, Н. С. Фрумина, Е. С. Кручкова, Л. А. Молот, Е. Д. Давыдова

лучил название рационального ассортимента. В рациональный ассортимент были включены в основном соединения, которые непосредственно взаимодействуют с определяемым ионом или претерпевают химическое изменение под его влиянием; вместе с тем в него не вошли реактивы, являющиеся вспомогательными, необходимыми для создания соответствующей среды, маскировки ионов, сопутствующих основному элементу, разделению, экстракции и т. д., а также реактивы, имеющие общепроаналитическое значение (титранты, рН-индикаторы и т. д.). Многие органические реактивы (альберон, гидрон, тетра и др.) были предложены И. С. Мустафиным и сотрудниками его кафедры, а также отделом НИИХимии СГУ, принимавшими самое деятельное участие в разработке рационального ассортимента.

Каждая книга серии «Органические реактивы для определения неорганических ионов» имела название

определяемого иона, содержала его химико-аналитическую характеристику и рекомендуемые по весовому, объемному, фотометрическому и люминесцентному анализам реактивы. Затем по всем определениям давались подробные прописи и приводился обширнейший список научной литературы, как советской, так и зарубежной. Издание подобного рода не имело аналогий в научной литературе.

Издание серии книг по рациональному ассортименту было, конечно, большим и нужным делом. Однако уже в середине 60-х годов ученые-химики остро ощутили необходимость в проведении расширенной конференции, посвященной исследованию и применению органических реактивов в аналитической химии. Как известно, в 1956 г. состоялось Первое всесоюзное совещание по применению органических реактивов в аналитической химии. С тех пор в области исследования и использования органических реактивов было сделано много нового и значительного разными научными коллективами. Поэтому в новом совещании могли бы принять участие представители различных отечественных аналитических школ и направлений.

Подготовка Второго всесоюзного совещания по применению органических реактивов в аналитической химии была поручена кафедре аналитической химии Саратовского университета, хорошо известной своими работами в этой области науки. В огромную работу по организации и проведению совещания И. С. Мустафин вовлек всех преподавателей кафедры, инженеров НИИХимии, лаборантов и даже студентов. Привлек он и химиков из других высших учебных заведений Саратова. Деятельное участие в подготовительных мероприятиях приняли Саратовское правление ВХО им. Д. И. Менделеева, химические предприятия города и области. В те дни И. С. Мустафина везде встречали с пониманием, оказывали всемерную поддержку, быстро разрешали все возникающие у организаторов совещания затруднения.

Совещание проходило в Саратове с 29 мая по 2 июня 1966 г. Пленарное заседание состоялось в аудитории им. М. Горького Саратовского университета. В президиуме и в зале находились видные ученые-аналитики: И. П. Алимарин, А. Т. Пилипенко, К. Б. Яцимирский, В. И. Кузнецов, И. М. Куренман, С. Б. Сав-



И. С. Мустафин в президиуме Второго Всесоюзного совещания по применению органических реактивов в аналитической химии, 1966 г.

виц, Н. Н. Басаргин, В. А. Назаренко, Ю. А. Клячко, И. В. Пятницкий, К. Н. Багдасаров и многие другие. Всего присутствовали 400 представителей от 80 организаций из 65 городов [1, 120].

Открыл совещание И. С. Мустафин. Как вспоминал позднее Ю. А. Клячко, своим выступлением ученый «сразу сумел создать в аудитории, состоящей из представителей разных, в том числе и конкурирующих, школ не просто рабочую атмосферу, но дух доброжелательного обмена идеями, обстановку настоящей творческой дискуссии». Доклады, представленные на совещании, в основном были интересными и содержательными. И это неудивительно: за истекший после Первого совещания период у химиков страны накопилось много нового материала, они располагали большими достижениями в изучении и применении органических реактивов. Обсуждение представленных докладов (а их было 156) проходило горячо и страстно.

Тщательно и всесторонне была продумана программа совещания. Его делегаты чувствовали себя не только участниками важного научного форума, но и гостями Саратова. Устроители организовали для них экскурсии

на Саратовский химкомбинат и на завод технического стекла, где широко использовались органические реактивы и современные методы количественного анализа, о которых шла речь на совещании.

На совещании в Саратове химики-аналитики получили возможность широкого общения не только между собой, но и с представителями различных отраслей промышленности, и со специалистами в области метрологии. Было обращено внимание на то, что установление саратовским профессором естественного предела чувствительности определения избавляло аналитиков от необходимости рассматривать работы с неоправданной точностью анализа.

Как известно, химики для проверки точности своего анализа и соответственно устранения погрешностей пользуются нормальными или стандартными образцами — эталонами, в которых содержание каждого элемента указано с особо высокой точностью. Изготовление и проверка образцов проводятся несколькими лабораториями, причем самыми различными методами. Направленность научных работ И. С. Мустафина и экспериментальная база его лаборатории побудили метрологов обратиться к профессору с предложением включиться в проверку стандартных образцов. И, несмотря на загруженность работой по рациональному ассортименту, ученый взялся за решение этой новой задачи. Однако он лишь начал это большое дело. После смерти И. С. Мустафина эту работу продолжили сотрудники его кафедры.

Позднее ученые Института стандартных образцов охарактеризовали саратовских химиков как высококвалифицированных специалистов, способных решать сложные аналитические задачи. «Примененные аналитические методы и хорошее качество работы, — отмечалось в одном из отзывов, — позволяют аттестовать стандартные образцы и внедрить их в производство на промышленных предприятиях нашей страны и за рубежом. Наше сотрудничество позволяет повысить качество контроля выпускаемой продукции на промышленных предприятиях и приносить пользу аналитическим службам нашей страны».

Совершенно очевидно, что И. С. Мустафин создал аналитический центр большого экономического района, интерес к которому выходил далеко за его пределы.

Высокочувствительные, надежные и точные методы анализа, разработанные И. С. Мустафиным вместе с учениками О. В. Сивановой, Р. К. Черновой, Н. С. Фруминой, В. П. Керенцевой, Е. С. Кручковой, Н. Ф. Лисенко, Н. Н. Горюновой, В. С. Щукиной, Е. А. Кашковской, Б. В. Абалдуевым и др., хорошо известны на многих предприятиях нашей страны и за рубежом. Именно это имел в виду академик И. П. Алимарин, когда в своем приветствии И. С. Мустафину писал: «Ваши замечательные исследования в области теории и практического применения органических реактивов получили широкое признание. Вы создали крупную школу в этой области аналитической химии» [II, 21].

Глава третья

Педагог

Педагогическая работа И. С. Мустафина органически связана с его научной деятельностью. В сущности, это две стороны единого целого, причем связь этих сторон обусловлена не только единым источником формирования научной школы, каковым является университетская кафедра и ее учебные и исследовательские лаборатории, но и факторами методологического характера. Как научная, так и педагогическая деятельность И. С. Мустафина основаны на широком использовании принципа интеграции знаний, на привлечении к задачам развития аналитической химии (и как отрасли науки, и как учебной дисциплины) теоретико-методологических средств из арсенала других наук. И пожалуй, не менее ярко, чем в научной, этот принцип выступает в педагогической деятельности И. С. Мустафина. Он выражается здесь в своеобразном синтезе естественнонаучных, технических и даже гуманитарных знаний, который ученый-педагог осуществляет при изложении программного материала путем включения в него историко-научной информации.

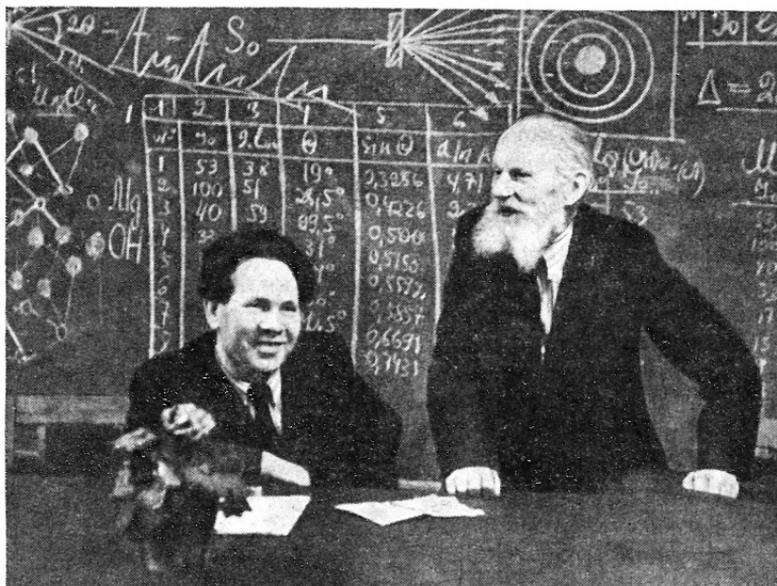
История химии в педагогической деятельности И. С. Мустафина — отнюдь не спорадический элемент. Она не только и не просто включена в его лекции, семинары, собеседования на методологические темы с сотрудниками кафедры, во все формы его общения со студентами и аспирантами в качестве неотъемлемой части организуемого им педагогического процесса, но представляет собой основной фон, на котором разворачивается материал его учебных программ. В истории химии И. С. Мустафин видит главное средство реализации той важнейшей задачи, отношение к которой, по существу, всецело определяет лицо любого педагога, задачи единения обучения и воспитания. Это обстоятельство и составляет основную отличительную особенность всей его педагогической деятельности. Именно она и прида-

ет последней действенный характер: в центр внимания И. С. Мустафин ставит не простую передачу готовых знаний студенту, а формирование его активного отношения к проблемам науки, твердого убеждения в высокой социальной значимости научных знаний, желания и умения включиться в процесс научного творчества.

Историко-научный подход к решению педагогических задач. Какую важную роль играют историко-научные сведения в педагогической практике, И. С. Мустафин понял еще в студенческие годы. Он всегда связывал с этой ролью формирование собственных научных интересов — ведь переориентация его устремлений с инженерно-технической деятельности, о которой он мечтал до поступления в вуз, на научную произошла главным образом под влиянием специфического, если так можно выразиться, историко-научного изложения химических знаний в лекциях его учителей (см. гл. первую). Поэтому уже самые первые лекции по аналитической химии студентам он строил с учетом педагогического опыта своих непосредственных предшественников, стремясь показать достигнутые успехи химии не столько как вершину знаний, сколько как рубеж, открывающий широкие и заманчивые перспективы их развития.

Он не поступился историко-химическим материалом в своих лекциях и тогда, когда объем научной информации по аналитической химии возрос настолько, что рамки учебников и учебных программ оказались узкими даже для «основного» материала курса. Это были 50—60-е годы, к которым обычно относят начало современной научно-технической революции. Именно в 50-е годы И. С. Мустафин поставил вопрос о коренной методологической перестройке педагогического процесса на всех кафедрах химического факультета Саратовского университета с целью включения в каждый курс лекций соответствующих гуманитарных аспектов. Именно тогда ученый приступил к чтению межкафедрального курса лекций по истории химии, который строился им не описательно, не так, как это было принято в большинстве учебников по истории химии, а по принципу широкого обобщения исторических фактов на основе марксистско-ленинской теории.

«Даты, имена, факты, которым в историографии науки справедливо придается большое значение,— подчеркивал И. С. Мустафин,— это строительный материал



В президиуме научной студенческой конференции. Профессора И. С. Мустафин (слева) и Я. Я. Додонов, 1960 г.

истории науки. При изложении истории нельзя ограничиться чистым описанием и простой констатацией фактов. Задачей историка науки является объяснение взаимосвязи и взаимообусловленности фактов и явлений, объяснения закономерностей развития науки. При этом историк науки может стоять на философской позиции материализма или идеализма — иного не дано; в зависимости от используемого метода познания он может быть диалектиком или метафизиком [1, 183, с. 9–10]. Свой курс по истории химии Мустафин строил, опираясь на философию диалектического материализма, материал располагал, так сказать, по «восходящей» — от абстрактного к конкретному. Как видим, ученый пользовался методом наиболее трудным, хотя и наиболее адекватным.

Во второй половине 60-х годов И. С. Мустафин приступил к подготовке серии книг под общим названием «Очерки по истории химии». В основу их он положил материалы своего курса. К сожалению, внезапная смерть помешала ученому осуществить полностью свой замысел: свет увидела лишь первая книга из намечает-

мой серии [I, 183]. Но и по ее содержанию можно составить представление о том важном месте, которое отводил И. С. Мустафин истории химии в организации научного и педагогического процессов.

По убеждению ученого, проблемы истории науки следует изучать и разрабатывать не столько для того, чтобы пополнять свои знания информацией о хронологии научных открытий или восстанавливать «историческую справедливость» в приоритетах, сколько для того, чтобы решать такие задачи, как «выявление закономерностей и движущих сил процесса развития химии, выяснение связи между химией и общественным производством, химией и господствующей идеологией, химией и другими научными дисциплинами, выяснение истинной роли творцов химии, установление своеобразия проявления извечной борьбы материализма с идеализмом... Меньше всего нас можно заподозрить в том, что мы праздно интересуемся преданиями старины глубокой, мы изучаем прошлое для того, чтобы понимать настоящее, предвидеть будущее, содействовать прогрессу, открытыми глазами смотреть на пути дальнейшего развития науки» [I, 183, с. 10].

Как ученый И. С. Мустафин использует историю химии в качестве эмпирического материала, обобщение которого позволяет увидеть «логику развития познания» [I, 183, с. 11] и руководствоваться ею в исследовательской практике. Но логика развития химического познания нужна ему и как педагогу, потому что только с ее помощью он может показать студентам данные науки, не как свалившиеся с неба, а как результат познавательного процесса, связанного с решением социально обусловленных проблем. В то же время как педагог он нуждается в истории химии еще и потому, что только она позволяет реализовать задачи формирования нового научного мировоззрения, трудового, нравственного и патриотического воспитания студентов.

В своей книге и в своих лекциях по истории химии И. С. Мустафин подробно с марксистских позиций освещает вопросы социальной обусловленности и социальной ориентации развития науки. Он показывает интернациональный характер науки вообще и наряду с этим особенности советской науки: ее призвание служить обществу, отражать интересы человека-труженика, ее народность, демократичность и открытость для всех слоев населения, всех наций и национальностей; ее гумани-

стическую направленность [I, 183, с. 7—9, 15—22]. Интересно то, что марксистские положения о классовой сущности науки И. С. Мустафин излагает в собственной оригинальной манере¹.

В курсе по истории химии И. С. Мустафин делает широкие философские обобщения и оригинальные выводы, неоднократно обращается к трудам известных советских ученых — историков химии В. И. Кузнецова, Ю. И. Соловьева, А. Ф. Капустинского, Г. В. Быкова, Ю. С. Мусабекова, А. Х. Баталина [II, 22—26]. Он не избегает проблем социологии науки, подробно рассматривая, в частности, сложные вопросы о соотношении национального и интернационального в науке, о зависимости уровней развития научного знания от характера общественно-экономических отношений, о соотношении естественнонаучных и философских знаний и т. д. По этим вопросам ученый полемизирует с такими историками химии, как Э. Мейер [I, 183, с. 34], П. Вальден [I, 183, с. 90, 98] и др. В оценке связей русской науки с наукой Запада он не согласен и с А. Ф. Капустинским [I, 183, с. 109], который вслед за Вальденом охарактеризовал эти связи как односторонние.

При характеристике особенностей развития химии в России он широко использует полученные на основе археологических данных и архивных документов выводы из области гражданской истории народов нашей страны. При этом он опирается главным образом на работы известных советских историков С. В. Киселева, А. М. Панкратовой, Б. А. Рыбакова и др.

И все-таки основным результатом обращения И. С. Мустафина к истории науки следует считать непреложный вывод о необходимости подведения прочного методологического фундамента под весь педагогический процесс. Таким фундаментом, по мнению ученого, в идеале должен быть «союз основной учебной дисциплины, в данном случае химии (и в частности аналитической химии), с философией диалектического материализма, историей, экономикой, смежными естественными и техническими науками. Но И. С. Мустафин хорошо осознает, что практическое претворение в жизнь этого вывода сопряжено с исключительно большими трудностями

¹ Однако нельзя согласиться со всеми выводами И. С. Мустафина, изложенными им в «Очерках по истории химии». Некоторые из них отвергнуты последующим ходом событий, а часть имеет спорный характер (Примеч. ред).

ми. Поэтому в действительности он ставил перед собой в первую очередь задачу о тенденциях интеграции естественнонаучных и философских знаний в процессе преподавания химии, о реализации тех методологических требований, которые предъявляет к организаторам учебного процесса в советской школе марксистско-ленинская теория познания.

Логический подход к решению педагогических задач. В приведенном выше названии термин «логический» по своему содержанию тождествен термину «диалектический». Но на наш взгляд он более рельефно отграничивает логический подход к решению педагогических задач от исторического или историко-научного подхода, о котором говорилось выше. Больше того, И. С. Мустафин ставил в основание своего подхода «логику развития познания» [I, 183, с. 11], интерпретируя ее как диалектику и теорию познания [I, 183, с. 11—20]. Это обстоятельство важно подчеркнуть, ибо такое отождествление диалектики, логики и теории познания последовательно проводилось И. С. Мустафиным в 50—60-х годах, т. е. тогда, когда в философской литературе диалектика рассматривалась в онтологическом плане как наука об общих законах природы и общества, а логика и гносеология противопоставлялись ей как науки о мышлении. Между тем преобразование И. С. Мустафиным диалектики в гносеологическом плане полностью отвечает ленинской мысли о «совпадении» диалектики, логики и теории познания. В «Философских тетрадах» В. И. Ленин указывает на то, что в «Капитале» К. Маркса «применена к одной науке логика, диалектика и теория познания материализма [не надо 3-х слов: это одно и то же] ...»² Эту мысль В. И. Ленин четко отграничивает от онтологической интерпретации диалектики Г. В. Плехановым, рассматривавшим закон единства и борьбы противоположностей как сумму примеров, относящихся к явлениям природы и общества, «а не как закон познания (и закон объективного мира)»³. Согласно В. И. Ленину, «диалектика и есть теория познания (Гегеля и) марксизма: вот на какую «сторону» дела (это не «сторона» дела, а суть дела) не обратил внимания Плеханов, не говоря уже о других марксистах»⁴.

² Ленин В. И. Полн. собр. соч. Т. 29. С. 301.

³ Там же. С. 316.

⁴ Там же. С. 321.

Заметим, что и в настоящее время в вопросе о гносеологическом статусе диалектики ученые еще занимают неодинаковые позиции. Но не будем рассматривать причины расхождения во взглядах на диалектику: эти причины, а равно и вытекающие из них следствия подробно проанализированы в журналах «Коммунист» [II, 28—30] и «Вопросы философии» [II, 31, 32]. В частности, в редакционной статье журнала «Коммунист» говорится: «Много споров и разногласий до сих пор вызывает ленинский тезис о том, что диалектика и есть теория познания марксизма, иначе говоря, тезис о „совпадении“, „тождестве“ диалектики и теории познания, а также логики. Эту ленинскую мысль пытаются иной раз объявить фигуральным выражением, не имеющим буквально точного смысла... Тем самым мысль Ленина искажается. Ленин исходит из того, что диалектические законы едины для всего сущего: природы, общества и мышления. Мышление только тогда и может адекватно постигать противоречия сущего, если оно диалектично... Тождество диалектики, логики и теории познания — это и есть философский материализм, монизм, исходящий из того, что одни и те же законы царствуют в сфере природы, общества и мышления [II, 28, с. 40]. Только ленинское понимание диалектики как логики и теории познания позволяет использовать ее при решении задач единения обучения и воспитания студентов, развития у них научного мировоззрения в процессе освоения ими естественных наук.

И. С. Мустафин был противником широко распространенного тогда онтологического подхода к реализации этих задач, согласно которому формировать «диалектико-материалистическое» мировоззрение студентов «на материале» химии можно путем иллюстрации бесчисленных примеров действия законов перехода количества в качество ($2\text{H} \rightarrow \text{H}_2$; $\text{O}_2 + \text{O} \rightarrow \text{O}_3$; $\text{C}_2\text{H}_4 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ и т. д.), единства и борьбы противоположностей (ассоциация — диссоциация), отрицания отрицания (лед — вода — пар) и т. д. Он настаивал на гносеологическом подходе к реализации названных задач, согласно которому само понятие научного мировоззрения приобретает более широкий смысл, включая в себя политические и нравственные аспекты, активность жизненной позиции, отношение к труду и т. д.

Естественно, что такой подход потребовал от И. С. Мустафина иной оценки «материала химии», не-

обходимого для воспитания студентов. Этим материалом для ученого послужили не столько готовые истины, сколько информация о социально-исторической обусловленности и внутренней логике развития химии, об эволюционных и революционных изменениях движения научного знания, о борьбе мнений в процессе решения возникающих проблем. Собственно научная информация предстает при таком взгляде на материал химии логически обусловленным результатом живого научного творчества живых людей и поэтому, как правило, приобретает имя — «атомистика Дальтона», «дуалистическая теория Берцелиуса», «унитарная теория Жерара», «периодический закон Менделеева» и т. д. По существу, весь курс лекций И. С. Мустафина по истории химии и его первая книга «Очерков по истории химии» представляют собой развернутое полотно «познающей деятельности человечества» со времен глубокой древности и до сего дня с целью создания «правильной научной картины мира, существующего независимо от человека», картины, которая «нужна передовому классу общества (сознает он это или нет) для того, чтобы переделать мир, сделать его более приспособленным для себя, а если говорить о современном рабочем классе, то и для всего трудящегося человечества» [I, 183, с. 7]. Поэтому, подчеркивал И. С. Мустафин, «не праздное любопытство и стремление к истине толкают людей на опасные и долгие путешествия, на трудные и многолетние исследования, на кропотливое и утомительное собирание разрозненных фактов, на великие и тяжелые научные подвиги» [I, 183, с. 7]. Главной движущей силой развития науки, так же как и материального производства, являются общественные потребности, главным источником всех материальных и духовных ценностей *служит свободный труд* свободных людей.

Величию труда И. С. Мустафин посвящал почти каждую свою лекцию. При этом ученый подчеркивал, «что и сам человек и человеческое сознание — продукты специфического способа жизнедеятельности, основу которой составляет *труд*; что только в *процессе труда* становится возможным познание объективного мира; что способность мышления — результат *активного отношения* человека к внешнему миру; что *труд*, практика являются не только основой познания, но и целью познания; что наука — не только сумма или система

знаний, но и *деятельность* по получению знаний; что практика есть критерий истины; что любой процесс познания *начинается с постановки вопроса, выдвигаемого трудовой деятельностью людей в обстановке складывающихся противоречий в объяснении явлений*».

Исходя из этих положений, И. С. Мустафин прежде всего обращал внимание студентов на то, что любые данные любой учебной дисциплины являются конкретным результатом специфической трудовой деятельности ученых, чьи имена и особенности научного творчества необходимо знать так же, как и «основной материал» программы, зачастую преподносимый в учебниках «как неведомо откуда появившийся». «Наука творится не абстрактными личностями, — говорил он, — а конкретными людьми, в творчестве которых несомненно отражается особенность исторически сложившегося психического склада народа, из недр которого вышли эти люди.

Именно в этом смысле мы можем говорить об особенностях русской науки, о характерных чертах отечественного естествознания, о русской химии и т. д.» [I, 183, с. 9].

Согласно И. С. Мустафину, истины неизвестного происхождения, нередко содержащиеся в вузовских учебниках или излагаемые преподавателем, подобны дару, свалившемуся с неба. Их можно воспринять только на веру, полагаясь на авторитет тех, кто пишет учебники или ведет учебные занятия. В науке же нет места слепой вере. Не должно быть места ей и в процессе освоения знаний студентами. В этом заключался первый основополагающий принцип реализации задачи единения обучения и воспитания, которого придерживался И. С. Мустафин. Этот принцип можно назвать материалистическим пониманием природы научного знания.

Согласно этому принципу, за каждым научным результатом скрывается труд исследователя, как правило, отвечающий актуальным социальным запросам и представляющий собой такую же историческую необходимость, как труд рабочего и крестьянина, создающих материальные ценности. При этом И. С. Мустафин всегда подчеркивал, что исследовательский труд отнюдь не легок, и в подтверждение приводил точные и яркие слова К. Маркса: «В науке нет широкой столбовой дороги, и только тот может достигнуть ее сияющих вершин,

кто, не страшась усталости, карабкается по ее каменистым тропам»⁵.

И. С. Мустафин в своей педагогической деятельности использовал богатейший историко-научный материал. От подвижничества великих мучеников науки, пострадавших от церкви за торжество своих идей, до поразительных успехов ученых второй половины XX в. в освоении космоса и атомной энергии, в синтезе самых разнообразных материалов и в познании жизни — такова картина развития науки, которую рисовал И. С. Мустафин. Но особое место среди историко-химического материала, приводимого ученым, занимает советская наука.

Достижения советских химиков И. С. Мустафин характеризует и многочисленными статистическими данными, позволяющими выделить вклад ученых СССР на фоне мирового развития химии [I, 183, с. 21—22], и описанием их конкретного участия в решении наиболее крупных научных проблем.

По убеждению И. С. Мустафина, воспитанию у студентов трудолюбия, патриотических чувств и нравственного долга во многом помогает обращение к жизни и деятельности великих русских ученых. В этом сам И. С. Мустафин, в частности, брал пример с Д. И. Менделеева, который в своей педагогической практике придавал исключительно большое значение вопросам формирования «миросозерцания» и рекомендовал широко использовать для этого историко-научную информацию. И. С. Мустафин подчеркивал, что Д. И. Менделеев в своих лекциях и учебниках «Органическая химия» и «Основы химии» стремился как можно ярче и полнее раскрыть роль социальных запросов и личностного фактора, главным образом трудового энтузиазма ученых, в постижении истины. Только руководствуясь таким принципом, можно, по мнению Д. И. Менделеева, «развить... дух пытливости, не довольствующийся одним созерцанием, а стремящийся каждую мысль превратить в опыт, возбуждающий и приучающий к упорному труду, заставляющий узнавать прошлое и искать новых нитей для построения мостов через бездну неизвестного» [II, 33, с. 24].

Вторым основополагающим принципом решения задачи единения обучения и воспитания И. С. Мустафин

⁵ Маркс К., Энгельс Ф. Соч. 2-е изд. Т. 23. С. 25.

считал относительный характер научных знаний в смысле их непрерывного углубления и перехода от истины первого порядка к истине второго порядка и т. д. [I, 183, с. 11—20]. Он был противником абсолютизации научных истин, постоянно напоминая студентам положение Ф. Энгельса о том, что «все приобретаемые нами знания по необходимости ограничены и обусловлены теми обстоятельствами, при которых мы их приобретаем... то, что ныне признается истиной, имеет свою ошибочную сторону, которая теперь скрыта, но со временем выступит наружу; и совершенно так же то, что признано теперь заблуждением, имеет истинную сторону...»⁶. В своих лекциях И. С. Мустафин приводил массу примеров активных выступлений крупнейших ученых прошлого, даже тех, которые находились на позициях стихийной диалектики, против абсолютизации научных данных. Д. И. Менделеев, например, с присущей ему прямоотой категорически возражал против приписывания «абсолютного значения тому, что нередко относительно и временно», в частности и тем научным данным, которые приводил в «Основах химии» [II, 34, с. 176]. Любые попытки абсолютизации научного материала он рассматривал как защиту чуждых ему философских воззрений о пределах познания. Д. И. Менделеев всюду стремился подчеркнуть ступенчатый характер накопления знаний и перехода от одной «частичной истины» к другой более полной, и так до бесконечности. «Наука, познавая бесконечное, сама бесконечна», — говорил он.

Развивая идеи об относительном характере научных знаний, И. С. Мустафин в «Очерках по истории химии» [I, 183] затронул один из наиболее актуальных и в то же время очень трудных вопросов об отношениях между истиной и заблуждением, истинным знанием и ложным, между наукой и так называемой лженаукой. Известно, что этот вопрос широко обсуждался на страницах «Литературной газеты» и журнала «Химия и жизнь». Поводом к этому послужил «Трактат о лженауке» М. В. Волькенштейна [II, 35]. Автор этого трактата в своем стремлении показать жестко альтернативный характер отношений между «подлинной наукой» и «опасной для общества лженаукой» выдвинул тезис о том, что «лженаука апеллирует к необходимо-

⁶ Там же. Т. 21. С. 302—303.

сти научных дискуссий», тогда как «твердо установленные, проверенные опытом и теоретически непротиворечивые положения не должны быть предметом дискуссии».

Такие утверждения, естественно, вызвали возражения: из истории науки хорошо известно, что дискуссии являются стимулом исследовательской деятельности и развития научных знаний, а что касается защиты «твердо установленных и непротиворечивых положений», то таковую можно рассматривать только как попытку абсолютизации знаний.

Свои «Очерки по истории химии» И. С. Мустафин писал задолго до появления «Трактата о лженауке» и широкого обсуждения вопроса о возможности противопоставления лже- или псевдонауки [II, 36] истинной науке. Но он уже тогда поставил все точки над *i* в вопросе о характере дискуссий в науке и об отношениях между истинными и ошибочными, научными и антинаучными представлениями. В полном соответствии с историко-научным материалом и диалектикой развития науки ученый отграничил дискуссии, возникшие в результате выдвижения односторонних теорий и являющиеся стимулом научно-технического прогресса, от споров между сторонниками и противниками последнего.

Напомнив слова Д. И. Менделеева о том, что все «важнейшие открытия ведут вначале к крайним гипотезам», борьба между приверженцами которых поднимает науку на новые ступени развития, он обосновал следующее положение: «Споры между сторонниками различных теорий — это чаще всего споры между учеными, подметившими одну из противоречивых сторон единого явления. Односторонние взгляды, возникшие в результате анализа (в высшей стадии познания), приводят к истинному представлению о едином явлении. При оценке борьбы между односторонними взглядами в науке мы должны учесть, что она происходит полностью на почве научного познания и этим отличается от борьбы между научными и антинаучными представлениями, которая прямо и непосредственно отражает борьбу между прогрессивными и реакционными силами общества» [I, 183, с. 12].

Одним из наиболее важных принципов единения обучения и воспитания, вытекающим из самой сути диалектики — из закона единства и борьбы противоположностей, И. С. Мустафин считал требование учить



И. С. Мустафин с женой Татьяной Федоровной и сыновьями Дмитрием и Александром. 1958 г.

критическому, творческому мышлению, а не заучиванию ответов на вопросы экзаменационных листков. Студента надо вводить в науку с переднего входа, говорил он, с постановки проблемы, решение которой требует уже «приобретенных знаний плюс поиска новых знаний, т. е. активности мысли». Он был категорически против того, чтобы учащегося вводили в науку «с обратного конца — с готовых выводов, появившихся неизвестно откуда и зачем».

В этом отношении И. С. Мустафин строго придерживался указаний Д. И. Менделеева, относящихся к построению курса общей химии и изложенных в учебнике «Основы химии». Этот учебник отличался не только всеобъемлющим содержанием естественнонаучного материала, но и его философским осмыслением. «В предлагаемом сочинении две цели, — писал Менделеев в предисловии к третьему изданию „Основ химии“.— Первая — познакомить публику и учащихся... с основными данными и выводами химии, с ее мирозерцанием и с теми применениями, какие получила химия в сельском хозяйстве, технике и других прикладных знаниях. Эти отношения к философии и жизни придают нашей науке легкую усвояемость и определяют ее общественное значение. Но знание выводов без сведения о способах их

достижения может легко вести к заблуждению не только в философской, но и в практической стороне науки, потому что тогда неизбежно необходимо придавать абсолютное значение тому, что нередко относительно и временно... Это заставило меня к вышеназванной цели присовокупить другую, более специальную: излагать вместе с выводами описание способов их добычи» [I, 33, с. 3].

Учебник Д. И. Менделеева до известной степени представлял собой изложение «философских начал» химии, под которыми понимают отнюдь не натурфилософские или онтологические основания науки, а исторически сложившуюся сокровищницу обобщенного опыта научного познания. И. С. Мустафин называл менделеевский учебник логическими основаниями изложения химии, настоящим руководством в своей педагогической деятельности. Курс аналитической химии он читал, ориентируясь также на рекомендации Д. И. Менделеева: «...чем меньше фактов служит для большего числа последовательных и верных выводов, тем лучше. Вся масса предлагаемых сведений должна связываться немногими ясными идеями; иначе не привыкнет ум учащегося к обобщениям, не будет иметь стремлений и целей, пропадет в мелочности — словом, не вынесет образования, которое, между прочим, и состоит в постоянном запоминании и извлечении сущности из ряда явлений и фактов» [II, 37, с. 157].

Основной ливней в суждениях И. С. Мустафина о методике преподавания химии проходит обоснование роли классификации и вообще упорядоченности научных знаний вплоть до субординации их отдельных форм — фактов, гипотез, теорий — с целью создания практически действенной системы науки. Легко понять, что разработка такой системы представляла большие трудности. В 50—60-х годах в литературе по истории и методологии химии практически еще не было высказано никаких идей о критериях разделения химических знаний по принципу их субординации. И. С. Мустафин подходил к решению этой проблемы, рассматривая каждый последующий период по отношению к предыдущему не только по координате времени, но и по объему полученных знаний, а также по глубине их проникновения в сущность химических объектов. Именно так были построены его лекции по истории химии, что нашло отражение в упомянутых выше «Очерках по истории хи-

мии» [I, 183, с. 23—136]. Так же строился курс лекций и его монографические работы по аналитической химии [I, 142, 131, 132, 171].

Выше была освещена, в сущности, только одна из особенностей педагогической деятельности И. С. Мустафина — его стремление органически сочетать в себе функции ученого и педагога, считающего своим священным долгом передачу не только научных знаний молодежи, но еще и ответственности за моральный облик специалиста вступающего в жизнь, за его политические убеждения и творческое отношение к науке. Но именно эта особенность отличает характеризует И. С. Мустафина не только как ученого и педагога, но и как человека — ведь для того, чтобы исполнить столь высокий общественный долг, он был обязан сам обладать такими качествами.

К личности И. С. Мустафина в полной мере относится критерий коммуниста, сформулированный В. И. Лениным в речи на III Всероссийском съезде комсомола. «Коммунистом,— говорил В. И. Ленин,— можно стать лишь тогда, когда обогатишь свою память знанием всех тех богатств, которые выработало человечество»⁷, когда коммунизм будет превращен «из готовых заученных формул, советов, рецептов, предписаний, программ в то живое, что объединяет... непосредственную работу»⁸. «Без работы, без борьбы, — подчеркивал В. И. Ленин, — книжное знание коммунизма из коммунистических брошюр и произведений ровно ничего не стоит, так как оно продолжало бы старый разрыв между теорией и практикой, тот старый разрыв, который составлял самую отвратительную черту старого буржуазного общества»⁹. Для И. С. Мустафина, бывшего кочегара и одновременно рабфаковца, участника строительства первенцев индустриализации страны и студента университета, парторга МТС и аспиранта, политрука роты на фронтах Великой Отечественной войны и молодого ученого, доктора наук и профессора-педагога коммунизм как учение всегда был руководящим началом в работе, учебе, борьбе и жизни.

И. С. Мустафин прожил недолгую жизнь, и, к сожалению, большая ее часть прошла не в университетских

⁷ Ленин В. И. Полн. собр. соч. Т. 41. С. 305.

⁸ Там же. С. 308.

⁹ Там же. С. 302.

лабораториях. Он скоростно скончался 1 декабря 1968 г., не успев завершить ряд своих ярких и интересных начинаний, связанных с дальнейшим развитием аналитической химии и истории науки.

Замыслы ученого воплощают его ученики, коллеги, друзья.

Многие советские химики испытали на себе влияние идей И. С. Мустафина, силу его убежденности и преданности науке, его удивительную доброжелательность и человечность. Книги, статьи, мысли профессора И. С. Мустафина продолжают жизнь ученого после его смерти, и в этом непреходящая ценность и глубокий смысл его научной творческой деятельности.

Основные даты жизни и деятельности И. С. Мустафина

- 1908, 3 сентября – родился в селе Верхний Урледин Рузаевского уезда Пензенской губернии
- 1918–1922 – учащийся начальной школы и одновременно котло-чист, а затем – клепальщик Саратовского судоремонтного завода
- 1923–1927 – учащийся Саратовской школы судомеханических специальностей
- 1925 – вступил в ряды Российского Коммунистического союза молодежи
- 1928–1931 – студент вечернего отделения рабфака им. В. И. Ленина и одновременно – слесарь-наладчик, каменщик, ко-чегар Волжского речного пароходства
- 1931 – вступил в ряды ВКП(б)
- 1931–1936 – студент химического факультета Саратовского государственного университета им. Н. С. Чернышевского
- 1931–1934 – по направлению крайкома ВКП(б) без отрыва от учебы неоднократно направляется в отдаленные районы Саратовской области и Калмыкии для организации МТС
- 1936–1939 – аспирант кафедры органической химии Саратовского государственного университета им. Н. Г. Чернышевского
- 1939–1941 – заведующий лабораторией органического синтеза, заместитель декана химического факультета Саратовского университета
- 1941–1945 – с 23 июня 1941 г. в действующей армии: политрук роты 21 армии Западного фронта, комсорг батальона, начальник химической службы. 15 августа 1945 г. демобилизован в звании инженер-капитана. Награжден медалью «За победу над Германией в Великой Отечественной войне 1941–1945 гг.»
- 1946 – защитил кандидатскую диссертацию на тему: «Меллитовая кислота»
- 1947 – присуждены ученая степень кандидата химических наук и ученое звание доцента
- 1949–1955 – приступил к изучению органических аналитических реактивов, доцент кафедры аналитической химии СГУ
- 1955–1968 – заведующий кафедрой аналитической химии СГУ, ведет интенсивную работу по исследованию, синтезу и применению новых органических реактивов
- 1959 – защитил докторскую диссертацию на тему «Исследование в области аналитического применения органических веществ»
- 1960 – присуждены ученая степень доктора химических наук и ученое звание профессора
- 1961 – за большие заслуги в подготовке специалистов и развитии науки Указом Президиума Верховного Совета СССР награжден орденом «Знак Почета»

- 1965 – Указом Президиума Верховного Совета СССР награжден медалью «Двадцать лет победы в Великой Отечественной войне 1941–1945 гг.»
- 1966 – избирается председателем оргкомитета Второго всесоюзного совещания по применению органических реактивов в аналитической химии
- 1966–1968 – возглавляет работу по составлению и изданию большой серии книг рационального ассортимента органических реактивов на неорганические ионы; подготавливает учебные пособия по определению черных и цветных металлов; выпускает в свет монографию «Органические реактивы»; завершает работу над первой частью «Очерков по истории химии»
- 1968, 1 декабря – Исаак Савельевич Мустафин скончался.

Библиография

I Основные работы И. С. Мустафина

1. О меллитовой кислоте // ХТТ. 1936. Т. 7, вып. 9–10. С. 877–890. В соавт. с Орловым Н. А.
2. Окисление как путь к образованию веществ углеводного характера // Докл. АН СССР. 1937. Т. 16, № 2. С. 107–110. В соавт. с Орловым Н. А.
3. Стирол из нефтегазовой смолы // Учен. зап. / Саратов. ун-т. 1940. № 15. С. 147–156.
4. Меллитовая кислота: Дис ... канд. хим. наук / Саратов. ун-т. Саратов, 1946. 94 с.
5. Богатство недр Саратовской области // Коммунист (Саратов). 1947. 22 окт.
6. Молекулярные соединения триангидрида меллитовой кислоты // Журн. общ. химии. 1947. Т. 17, вып. 3. С. 560–564.
7. Получение меллитовой кислоты // Там же. С. 557–559.
8. К проблеме генезиса сернистых нефтей // Докл. АН СССР. 1948. Т. 60, № 6. С. 1015–1017.
9. К вопросу о развитии анализа органических соединений // Завод. лаб. 1950. Т. 16. № 12. С. 1474–1476. В соавт. с Кульбергом Л. М.
10. Новая высокоспецифическая дробная реакция для открытия алюминия // Докл. АН СССР. 1951. Т. 77, № 2. С. 285–288. В соавт. с Кульбергом Л. М.
11. Новый индикатор для меркуриметрии // Завод. лаб. 1951. Т. 17, № 7. С. 412–415. В соавт. с Кульбергом Л. М.
12. О стратиграфическом распределении горючих ископаемых // Учен. зап. / Саратов. ун-т. 1951. № 25. С. 194–198.
13. Окисление высококонденсированных углеродистых веществ // Там же. С. 125–132.
14. Аналитическое использование явления галохромии.
1. Взаимодействие треххлористой сурьмы с некоторыми красителями // Укр. хим. журн. 1952. Т. 18, вып. 6. С. 641–645. В соавт. с Кульбергом Л. М., Черкесовым А. И.
15. 25-летие выхода в свет первой книги по капельному анализу // Завод. лаб. 1952. Т. 18, № 10. С. 1273–1276. В соавт. с Кульбергом Л. М.
16. К вопросу об эффекте утяжеления // Докл. АН СССР. 1952. Т. 85, № 6. С. 1285–1288. В соавт. с Кульбергом Л. М., Кочетковым Н. К.
17. Краткий очерк истории применения органических реактивов в анализе неорганических соединений // Учен. зап. / Саратов. ун-т. 1952. № 30. С. 3–12. В соавт. с Кульбергом Л. М.
18. Новый метод скорого микросинтеза органических реактивов для качественного анализа // Укр. хим. журн. 1952. Т. 18, вып. 5. С. 547–552. В соавт. с Кульбергом Л. М., Черкесовым А. И.
19. О преподавании аналитической химии в университетах // Вестн. высш. шк. 1952. № 12. С. 50–51. В соавт. с Кульбергом Л. М.

20. Русский химик А. Н. Вышнеградский // Учен. зап. / Саратов. ун-т. 1952. № 30. С. 13–26. В соавт. с Петренко А. А.
21. Специфические реакции и методы в органическом анализе. 1. Открытие и количественное определение следов пиперидина в присутствии пиридина // Журн. аналит. химии. 1952. Т. 17, вып. 2. С. 84–88. В соавт. с Кульбергом Л. М.
22. Бромнитрозол – улучшенный индикатор для меркуриметрии // Завод. лаб. 1953. Т. 19, № 10. С. 1148–1150. В соавт. с Кульбергом Л. М.
23. К определению хлоридов в природных водах, соляных растворах, почвах и грунтах // Гидрохимические материалы / Гидрохимический ин-т АН СССР. 1953. № 21. С. 139–143. В соавт. с Бадеевой Т. И., Храмовым В. П., Кульбергом Л. М.
24. Многоядерные α -полиоксихиноны как реактивы на бериллий // Укр. хим. журн. 1953. Т. 19, вып. 4. С. 421–428. В соавт. с Кульбергом Л. М.
25. Применение димедона для капельного открытия альдегидов // Журн. аналит. химии. 1953. Т. 18, вып. 2. С. 122–123. В соавт. с Кульбергом Л. М.
26. Русский химик А. Н. Попов // Учен. зап. / Саратов. ун-т. 1954. № 34. С. 3–13. В соавт. с Фаткуллиной Н. С.
27. Влияние внутренней водородной связи на свойства органических аналитических реагентов // Укр. хим. журн. 1955. Т. 21, вып. 6. С. 766–772. В соавт. с Кульбергом Л. М., Молот Л. А.
28. Влияние метильной группы на свойства органических реактивов // Укр. хим. журн. 1955. Т. 21, вып. 5. С. 641–645. В соавт. с Кульбергом Л. М., Бадеевой Т. И.
29. Леонид Маркович Кульберг // Журн. аналит. химии. 1955. Т. 20, вып. 3. С. 199–200.
30. О значении стерических факторов при применении органических соединений в качестве аналитических реактивов // Укр. хим. журн. 1955. Т. 21, вып. 3. С. 381–383. В соавт. с Бадеевой Т. И., Кульбергом Л. М.
31. Эффект утяжеления // Науч. ежегодник Саратов. ун-та за 1954 г. 1955. С. 513–516.
32. А. с. 14939 СССР. МКИ FO2N 17/04. Способ получения меллитовой кислоты // Б. И. 1955. № 4. В соавт. с Кульбергом Л. М., Орловым Н. А.
33. К вопросу о количественной характеристике ауксохромного действия элементов (катионов) // Журн. общ. химии. 1956. Т. 26, вып. 9. С. 2381–2384. В соавт. с Кашковской Е. А.
34. К теории действия органических реактивов. Эффект утяжеления // Учен. зап. / Саратов. ун-т. 1956. № 49. С. 101–107. В соавт. с Кульбергом Л. М.
35. Быстрый метод определения алюминия в сталях // Метод. материалы для лаб. геол. упр. и экспедиций: Бюл. М., 1957. Вып. 3(167). С. 24–29. В соавт. с Молот Л. А., Фруминой Н. С.
36. К вопросу о влиянии внутренних водородных связей на окраску органических соединений // Докл. АН СССР. 1957. Т. 113, № 3. С. 610–613. В соавт. с Матвеевым Л. О., Кашковской Е. А.

37. Новая группа комплексонометрических индикаторов // Завод. лаб. 1957. Т. 23, № 5. С. 519–522. В соавт. с Кашковской Е. А.
38. Получение тиаголиколевой кислоты // Метод. материалы для лаб. геол. упр. и экспедиций: Бюл. М., 1957. Вып. 3(167). С. 30–32. В соавт. с Ивановой А. Н.
39. Альберон — новый колориметрический реактив в анализе металлов // Совещ. по хим. контролю производства в металлургической и металлообрабатывающей промышленности: Тез. докл. Днепропетровск, 1958. С. 8–9. В соавт. с Кашковской Е. А.
40. Аналитическое применение фенолкарбоновых кислот трифенилметанового ряда. Определение бериллия в горных породах, минералах и сплавах // Завод. лаб. 1958. Т. 24, № 3. С. 259–262. В соавт. с Матвеевым Л. О.
41. Аналитическое применение фенолкарбоновых кислот трифенилметанового ряда. Определение ванадия в сталях при помощи алюминона // Журн. аналит. химии. 1958. Т. 13, вып. 2. С. 215–219. В соавт. с Кашковской Е. А.
42. К практическому применению нового комплексонометрического индикатора хромзеленый Г. Ускоренное определение кальция и магния в горных породах // Науч. докл. высш. шк. Химия и хим. технология. 1958. № 2. С. 297–299. В соавт. с Кашковской Е. А.
43. Меркуриметрическое определение хлоридов в пищевых продуктах // Вопр. питания. 1958. № 4. С. 69–72. В соавт. с Бадеевой Т. И., Петриковой К. Г.
44. Новый трилонометрический индикатор типа кислотного хромтемносинего // Завод. лаб. 1958. Т. 24, № 9. С. 1060–1061. В соавт. с Кашковской Е. А., Ивановой А. Н.
45. Определение алюминия с реактивом альберон // Завод. лаб. 1958. Т. 24, № 10. С. 1189–1192. В соавт. с Кашковской Е. А.
46. Фенолкарбоновые кислоты трифенилметанового ряда как аналитические реактивы // Бюл. НТИ (Вессоюз. науч.-исслед. ин-т хим. реактивов). 1958. № 6. С. 25–35. В соавт. с Кашковской Е. А.
47. Альберон. М.: Госхимиздат, 1959. 4 с. В соавт. с Кашковской Е. А., Матвеевым Л. О.
48. Аналитическая химия легирующих элементов. 1. Колориметрическое определение ниобия // Учен. зап. / Саратов. ун-т. 1959. № 71. С. 177–178. В соавт. с Молот Л. А.
49. Аналитическая химия легирующих элементов. 2. Определение титана в сталях и горных породах // Учен. зап. / Саратов. ун-т. 1959. № 71. С. 183–187. В соавт. с Ивановой А. Н.
50. Индикаторы с внутренними светофильтрами. 1. Определение жесткости слабоминерализованных вод с применением индикатора «Гидрон I» // Изв. вузов. Химия и хим. технология. 1959. Т. 2, вып. 3. С. 311–315. В соавт. с Кручковой Е. С.
51. Индикаторы с внутренними светофильтрами. 2. Трилонометрическое определение сульфатов с индикатором на основе родизоната натрия // Изв. вузов. Химия и хим. технология. 1959. Т. 2, вып. 4. С. 493–497. В соавт. с Молот Л. А.
52. Индикаторы с внутренними светофильтрами. Хелатометрическое определение суммы магния и кальция в присутствии магния // III конф. по аналит. химии (Прага, 1–8 окт.

- 1959 г.): Тез. докл. Прага, 1959. С. 132. В соавт. с Кручковой Е. С.
53. Исследование в области аналитического применения органических веществ: Автореф. дис. ... д-ра хим. наук. М.: Саратов. ун-т, 1959. 29 с.
 54. Новый колориметрический реактив на титан // Физико-химические методы контроля производства: Тр. совещ. работников вузов и завод. лаб. Юго-Востока СССР. Ростов н/Д, 1959. С. 166–169. В соавт. с Ивановой А. Н.
 55. О пределе чувствительности аналитических реактивов // Физико-химические методы контроля производства: Тр. совещ. работников вузов и завод. лаб. Юго-Востока СССР. Ростов н/Д, 1959. С. 223–228.
 56. О пределе чувствительности химико-аналитических реакций // III конф. по аналит. химии (Прага, 1–8 окт. 1959 г.): Тез. докл. Прага, 1959. С. 131.
 57. Об аналитических возможностях ализарина S // Физико-химические методы контроля производства: Тр. совещ. работников вузов и завод. лаб. Юго-Востока СССР. Ростов-н/Д, 1959. С. 142–160. В соавт. с Молот Л. А., Фруминой Н. С., Ковалевой А. Г.
 58. Оксидиметрия в щелочной области. Новый редокс-индикатор дифенилдианзидин-2,2'-дикарбоновая кислота // III конф. по аналит. химии (Прага, 1–8 окт. 1959 г.): Тез. докл. Прага, 1959. С. 132. В соавт. с Фруминой Н. С.
 59. Определение следов тория в тройном карбонате // Учен. зап./Сарат. ун-т. 1959. № 71. С. 217–220. В соавт. с Бадеевой Т. И.
 60. Определение чувствительности аналитических реактивов // Докл. АН СССР. 1959. Т. 126, № 3. С. 579–581.
 61. Структура и окраска фенолоксид трифенилметанового ряда // Учен. зап./Сарат. ун-т. 1959. № 71. С. 195–200. В соавт. с Кашковской Е. А., Матвеевым Л. О., Ивановой А. Н.
 62. Тетра (п-диметиламинофенил)-этилен как реактив для определения хлора // Учен. зап./Сарат. ун-т. 1959. № 71. С. 251–259. В соавт. с Кульбергом Л. М., Борзовой Л. Д., Черкесовым А. И., Барковским В. Ф.
 63. Аналитические свойства оксихинонов. 1. Производные 2,5-диоксибензохинона-1,4 // Органические реактивы в аналитической химии: Тр. комис. по аналит. химии АН СССР. 1960. Т. 11. С. 87–96. В соавт. с Матвеевым Л. О., Кашковской Е. А.
 64. Аналитические свойства фенолкарбоновых кислот трифенилметанового ряда // Там же. С. 97–112. В соавт. с Кашковской Е. А.
 65. Гидрон II – новый индикатор для комплексометрического определения кальция в присутствии магния // Журн. аналит. химии. 1960. Т. 15, вып. 1. С. 20–23. В соавт. с Кручковой Е. С.
 66. Новый редокс-индикатор для титрования в щелочной среде. Феррицианидный метод определения ванадия // Журн. аналит. химии. 1960. Т. 15, вып. 6. С. 671–675. В соавт. с Фруминой Н. С.
 67. О комплексе диметилглиоксима с четырехвалентным никелем // Журн. неорганич. химии. 1960. Т. 5, вып. 3. С. 571–574. В соавт. с Фруминой Н. С.

68. Определение активного кислорода в металлокерамических никелевых электродах // Завод. лаб. 1960. Т. 26, № 4. С. 410–412. В соавт. с Фруминой Н. С.
69. Определение алюминия в различных объектах // Вестн. Саратов. Совнархоза. 1960. № 4. С. 15–17. В соавт. с Фруминой Н. С., Молот Л. А.
70. Применение внутренних светофильтров в объемном анализе. Новые трилометрические индикаторы для определения суммы кальция и магния, а также кальция в присутствии магния // Сборник НТИ/ВНИИ хим. реактивов. М., 1960. № 2. С. 30–37. Совм. с Кручковой Е. С.
71. Сравнительная характеристика методов определения следов алюминия при помощи органических реактивов // Органические реактивы в аналитической химии: Тр. комис. по аналит. химии АН СССР. 1960. Т. 11. С. 231–242. В соавт. с Молот Л. А., Фруминой Н. С.
72. Фотометрическое определение бериллия в бронзах // Там же. С. 217–222. В соавт. с Матвеевым Л. О.
73. Аналитические свойства оксихинонов и зависимость между их структурой и свойствами // Науч. тр./Курск. пед. ин-т. 1961. Вып. 1. С. 59–66. В соавт. с Матвеевым Л. О., Ямпольским М. З.
74. Быстрые методы анализа катализатора получения НАК // Вестн. Саратов. Совнархоза. 1961. № 1. С. 28–30. В соавт. с Ивановой А. Н., Молот Л. А., Чугреевой Н. В., Фруминой Н. С.
75. Геометрическое моделирование объемных редокс-реакций // 6-я конф. работников завод. и произв. лаб. Казахстана и Ср. Азии: Тез. докл. Алма-Ата, 1961. С. 73. В соавт. с Фруминой Н. С.
76. Гидроны. М.: Госхимиздат, 1961. 8 с. В соавт. с Кручковой Е. С.
77. Комплексометрическое определение кальция в горных породах с индикатором Гидрон II // Завод. лаб. 1961. Т. 27, № 6. С. 668–669. В соавт. с Кручковой Е. С.
78. О замене уранилнитрата нафтоловым желтым в стандартном методе определения окисляемости технического этилового спирта // Журн. аналит. химии. 1961. Т. 16, вып. 2. С. 255. В соавт. с Немковой Н. К.
79. О пределе чувствительности аналитических методов // Получение и анализ элементов и веществ особой чистоты: Тез. докл. конф. Горький, 1961. С. 22. В соавт. с Кручковой Е. С.
80. Определение меди и кобальта в катализаторе получения нитрила акриловой кислоты // Завод. лаб. 1961. Т. 27, № 5. С. 552. В соавт. с Молот Л. А., Ивановой А. Н., Фруминой Н. С.
81. Развитие представлений о действии органических реагентов // Науч. тр./Курск. пед. ин-т. 1961. Вып. 1. С. 31–45. В соавт. с Ямпольским М. З.
82. Ускоренный анализ пегматита // 6-я конф. работников завод. и произв. лаб. Казахстана и Ср. Азии: Тез. докл. Алма-Ата, 1961. С. 47. В соавт. с Молот Л. А., Ивановой А. Н., Лисенко Н. Ф., Чугреевой Н. В., Тереховой Р. К.
83. Аналитические свойства оксизосоединений. Применение азопроизводных 8-оксихиволина для определения хлори-

- дов // Изв. вузов. Химия и хим. технология. 1962. Т. 5, вып. 6. С. 875–881. В соавт. с Сивановой О. В.
84. Аналитические свойства фенолокислота трифенилметанового ряда // Журн. аналит. химии. 1962. Т. 17, вып. 6. С. 1052–1056. В соавт. с Лисенко Н. Ф.
 85. Водородный отжиг как очистительная операция: Кинетика удаления сульфатов и хлоридов // Вопр. радиоэлектроники. Сер. 4. Технология производства и оборудование, 1962. Вып. 5. С. 80–84. В соавт. с Абалдуевым Б. В., Андреевой Е. Н., Гайдуковой М. А., Сухариев А. С.
 86. Идентификация ароматических аминов // Учен. зап. / Саратов. ун-т. 1962. № 65. С. 102–107. В соавт. с Зингером О. М., Кульбергом Л. М.
 87. К оценке чувствительности аналитических методов // Конф. работников предприятий металлург. и хим. пром-сти и вузов Юго-Востока СССР: Тез. докл. Ростов н/Д, 1962. С. 17–19.
 88. О некоторых направлениях аналитических исследований // Новейшие физико-химические методы анализа металлов и сплавов: Тез. докл. науч.-техн. совещ. М., 1962. С. 5–6.
 89. О пределе чувствительности реактивов и количественных методов // Завод. лаб. 1962. Т. 28, № 6. С. 664–667.
 90. Определение трехоксида сурьмы в железной катодной массе // Изв. вузов. Химия и хим. технология. 1962. Т. 5, вып. 3. С. 504–505. В соавт. с Ивановой А. Н.
 91. Сплавы для защитного покрытия сеток электронных ламп // Вопр. радиоэлектроники. Сер. 1. 1962. Вып. 7. С. 93–98. В соавт. с Абалдуевым Б. В., Гуткиным И. И.
 92. Хромоксан фиолетовый Р – реактив для суммарного и раздельного определения микрограммовых количеств алюминия и железа // Изв. вузов. Химия и хим. технология. 1962. Т. 5, вып. 5. С. 712–716. В соавт. с Лисенко Н. Ф., Молот Л. А.
 93. А. с. № 144557 СССР. МКИ Н01J1/48. Защитное покрытие для сеток электронных ламп // Б. И. 1962. № 3. В соавт. с Абалдуевым Б. В., Гуткиным И. И.
 94. Взаимодействие солей меди и хрома // Журн. неорганич. химии. 1963. Т. 8, вып. 10. С. 2314–2317. В соавт. с Ленской В. Н., Тереховой Р. К.
 95. Исследования в области аналитического применения органических веществ // Поволжский совет по координации и планированию научно-исследовательских работ по техническим и естественным наукам: Тез. докл. I науч. сессии. Казань, 1963. С. 12–14.
 96. О возможностях титриметрического анализа // Науч. тр. по химии и хим. технологии / Горьк. ун-т. 1963. Вып. 1. С. 121–124. В соавт. с Кручковой Е. С., Сивановой О. В.
 97. Определение золота в покрытиях на вольфрамовой основе с использованием вариационного синего // Журн. аналит. химии. 1963. Т. 18, вып. 9. С. 1054–1057. В соавт. с Фруминой Н. С., Аграновской Л. А.
 98. Определение меди в различных объектах с помощью 2,2'-бицинохинониевой кислоты // Завод. лаб. 1963. Т. 29, № 7. С. 782–785. В соавт. с Фруминой Н. С., Ковалевой А. Г.
 99. Рец. на кн.: Бусев А. И. Аналитическая химия молибдена. М.: Изд-во АН СССР, 1963. 302 с. // Изв. вузов. Химия и

- хим. технология. 1963. Т. 6, № 5. С. 884–885. В соавт. с Ковалевой А. Г.
100. Рец. на кн.: Лурье Ю. Ю., Рыбникова А. И. Химический анализ производственных сточных вод. 2-е изд. М.: Химиздат, 1963. 252 с. // Завод. лаб. 1963. Т. 23, № 12. С. 1509. В соавт. с Фруминой Н. С., Чугреевой Н. В.
 101. Установка для определения жировых загрязнений на поверхности деталей приемно-усилительных ламп методом каталитического сжигания // Вопр. радиоэлектроники. Сер. 4. 1963. № 3. С. 50–62. В соавт. с Абалдуевым Б. В., Крошечкиной Н. И., Луфт Б. Д., Сухарьер А. С.
 102. Установка для определения серы в материалах и на поверхности приемно-усилительных ламп // Вопр. радиоэлектроники. Сер. 4. 1963. № 3. С. 42–49. В соавт. с Абалдуевым Б. В., Гайдуковой М. А.
 103. А. с. 155847 СССР. МКИ В60L15/20. Антиэмиссионное покрытие для сеток приемно-усилительных ламп // Б. И. 1963. № 14. В соавт. с Абалдуевым Б. В., Гуткиным И. И.
 104. Изучение некоторых комплексных соединений методом амперометрического титрования с твердыми индикаторными микроэлектродами // Физико-химические и аналитические свойства комплексных соединений редких и цветных металлов и их применение: Тез. докл. межвуз. совеща. Ростов н/Д, 1964. С. 114. В соавт. с Тереховой Р. К., Ленской В. Н.
 105. Индикаторы с внутренними светофильтрами. Меркуриметрический индикатор – гидрон III // Журн. аналит. химии. 1964. Т. 19, вып. 2. С. 163–167. В соавт. с Сивановой О. В.
 106. Комплексонометрическое определение кальция и магния без отделения железа // Завод. лаб. 1964. Т. 30, № 12. С. 1448–1449. В соавт. с Тихоновым В. Н.
 107. О применении графитового микроэлектрода в амперометрии // Передовые методы химической технологии и контроля производства: Науч. тр. Всесоюз. конф. Ростов н/Д, 1964. С. 96–99. В соавт. с Ленской В. Н., Тереховой Р. К.
 108. Рец. на кн.: Баталин А. Х. Аналитическая химия и пути ее развития (История возникновения и развития основных методов и направлений аналитической химии). Оренбург, 1961 // Завод. лаб. 1964. Т. 30, № 1. С. 125.
 109. Рец. на кн.: Инж. Георги Н. Бабачев, инж. Любен К. Лукашев. Ръководство за химични и физико-механични изследвания на силикатни и карбонатни материали. София: Техника, 1963. 324 с. На болг. яз. // Химия и индустрия. 1964. № 6. С. 233. На болг. яз. В соавт. с Фруминой Н. С.
 110. Рец. на кн.: Коренман И. М. Аналитическая химия калия. Ин-т геохимии и аналит. химии АН СССР. М.: Наука, 1964. 254 с. // Журн. аналит. химии. 1964. Т. 19, вып. 11. С. 1419–1420. В соавт. с Фруминой Н. С.
 111. Спектрофотометрические характеристики, состав и константа нестойкости бериллиевого комплекса альберона // Передовые методы химической технологии и контроля производства: Науч. тр. Всесоюз. конф. Ростов н/Д., 1964. С. 182–186. В соавт. с Матвеевым Л. О., Ямпольским М. З.
 112. Ускоренные методы анализа стекла и природных алюмосиликатов // Передовые методы химической технологии и контроля производства: Науч. тр. Всесоюз. конф. Ро-

- стов в/Д, 1964. С. 329–333. В соавт. с Молот Л. А., Ивановой А. Н., Петриковой К. Г., Ковалевой В. С., Аграновской Л. А.
113. Химизация – путь к изобилию // Коммунист (Саратов). 1964. 3 янв.
 114. Новый комплексонометрический индикатор на медь // Завод. лаб. 1965. Т. 31, № 7. С. 786–788. В соавт. с Горюновой Н. Н., Фруминой Н. С.
 115. Об азосочетании 8-оксихинолина // Журн. орган. химии. 1965. Т. 1, вып. 1. С. 145–147. В соавт. с Сивановой О. В.
 116. Распределение германия в продуктах переработки горючих сланцев // Передовые методы контроля производства: Тез. докл. совещ. Саратов, 1965. С. 27. В соавт. с Казаковой М. Т., Ленской В. Н.
 117. Состояние в растворе фенолоксилот трифенилметанового ряда // Журн. аналит. химии. 1965. Т. 20, вып. 1. С. 17–25. В соавт. с Ивановой А. Н., Лисенко Н. Ф.
 118. Фотометрическое определение меди в магнии и магниевых сплавах при помощи бицинхоиновой кислоты // Журн. аналит. химии. 1965. Т. 20, вып. 3. С. 390–392. В соавт. с Тихоновым В. Н.
 119. Амперометрическое титрование как метод исследования комплексных соединений // Методы контроля химического состава неорганических и органических соединений / Средневож. ЦБТИ. Куйбышев, 1966. С. 166–168. В соавт. с Ленской В. Н., Черновой Р. К.
 120. Всесоюзная конференция по применению органических реактивов в аналитической химии // Завод. лаб. 1966. Т. 32, № 11. С. 1429–1430. В соавт. с Фруминой Н. С.
 121. Колориметрическое определение циркония в сплавах, содержащих титан и ниобий // Производство, эксплуатация и долговечность машин и их деталей: Науч. тр. / Саратов. политех. ин-т. 1966. Т. 29. С. 123. В соавт. с Щукиной В. С.
 122. Меркуриметрическое определение хлоридов и цианидов с использованием 5-(8,1-сульфонафтилазо)-8-оксихинолина // Журн. аналит. химии. 1966. Т. 21, вып. 2. С. 242–243. В соавт. с Сивановой О. В.
 123. Новый кинетический метод определения золота // Изв. вузов. Химия и хим. технология. 1966. Т. 9, № 4. С. 554–557. В соавт. с Фруминой Н. С., Куклевой Л. М.
 124. Определение алюминия и железа при совместном присутствии с помощью ксиленолового оранжевого // Изв. вузов. Химия и хим. технология. 1966. Т. 9, № 6. С. 873–875. В соавт. с Молот Л. А., Загребинной Р. Ф.
 125. Определение золота в покрытиях по молибдену кинетическим методом // Методы контроля химического состава неорганических и органических соединений / Средневож. ЦБТИ. Куйбышев, 1966. С. 172–181. В соавт. с Фруминой Н. С., Куклевой Л. М.
 126. Органические реагенты в аналитической химии циркония и гафния. Сообщ. 1. Альберон как реагент на цирконий // Журн. аналит. химии. 1966. Т. 21, вып. 3. С. 309–313. В соавт. с Щукиной В. С.
 127. Рец. на кн.: Щербов Д. П. Флуориметрия в химическом анализе минерального сырья. М.: Недра, 1965. 260 с. // Изв.

- вузов. Химия и хим. технология. 1966. Т. 9, № 3. С. 511–512. В соавт. с Милиным В. П.
128. Спектрофотометрическое изучение бис-(4-натрийтетразолилazo-5)-этилацетата в водных растворах // Журн. аналит. химии. 1966. Т. 21, вып. 1. С. 7–12. В соавт. с Фруминой Н. С., Горюновой Н. Н.
 129. Ускоренные методы контроля капронового волокна // Методы контроля химического состава неорганических и органических соединений / Средневож. ЦБТИ. Куйбышев, 1966. С. 186–190. В соавт. с Ивановой А. Н., Зенковой Н. Г.
 130. Фотометрическое определение циркония в алюминиевых сплавах с использованием арсената III // Журн. аналит. химии. 1966. Т. 21, вып. 9. С. 1136–1138. В соавт. с Щукиной В. С., Маливиной И. В.
 131. Анализ металлов. Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 1967. Вып. 1. 42 с. В соавт. с Ковалевой А. Г.
 132. Анализ металлов. Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 1967. Вып. 2. 44 с. В соавт. с Ковалевой А. Г.
 133. Аналитические свойства фенолоксилот трифенилметанового ряда. Комплексы хромоксана фиолетового Р с алюминием и железом // Журн. аналит. химии. 1967. Т. 22, вып. 1. С. 25–29. В соавт. с Лисенко Н. Ф.
 134. Дифференциально-фотометрическое определение циркония в сплавах // Завод. лаб. 1967. Т. 33, № 3. С. 291–295. В соавт. с Щукиной В. С.
 135. Исследования Л. А. Чугаева в области аналитической химии // Вопр. истории естествознания и техники. 1967. Т. 22. С. 57–61. В соавт. с Кульбергом Л. М., Евелевой Т. С.
 136. Колориметрическое определение циркония в сплавах с реактивом «цирконин» // Завод. лаб. 1967. Т. 33, № 1. С. 12–14. В соавт. с Щукиной В. С.
 137. Комплексонометрическое определение меди в промышленных сточных водах с помощью индикатора «тетра» // Техн. листок № 108 (1240). Саратов: Приволж. ЦБТИ, 1967. 4 с. В соавт. с Фруминой Н. С., Горюновой Н. Н.
 138. О состоянии в растворе дифениламина и некоторых его производных // Материалы к хим. конф. ВХО им. Д. И. Менделеева. Саратов, 1967. С. 52–54. В соавт. с Фруминой Н. С., Трегуб Е. Г.
 139. Определение меди в почвах при помощи 2,2'-бицинхиновой кислоты // Микроэлементы: Материалы 2-й конф. по обмену опытом работы с микроэлементами. Саратов, 1967. С. 148–151. В соавт. с Фруминой Н. С., Ковалевой В. С.
 140. Определение содержания железа в водах при помощи бис-(4-натрийтетразолилazo-5)-этилацетата // Техн. и экон. информ. Сер. Охрана труда и техника безопасности. Очистка сточ. вод и отходящих газов в хим. пром-сти. Саратов, 1967. Вып. 4. 4 с. В соавт. с Горюновой Н. Н., Фруминой Н. С.
 141. Органические реагенты в аналитической химии циркония и гафния. Сообщ. 2. Фотометрическое определение циркония с использованием галлоцианина МС // Журн. аналит. химии. 1967. Т. 22, вып. 9. С. 1338–1343. В соавт. с Щукиной В. С.

142. Органические реактивы. Саратов: Изд-во Сарат. ун-та, 1967. Ч. 1. Общие вопросы, исследование реактивов и аналитических форм. 130 с. В соавт. с Молот Л. А.
143. Полиокситрифенилметановые красители как реагенты на алюминий. Сообщ. 1. Пирокатехиновый фиолетовый и его комплекс с алюминием // Журн. аналит. химии. 1967. Т. 22, вып. 12. С. 1808–1811. В соавт. с Молот Л. А., Архангельской А. С.
144. Развитие аналитической химии в Саратове (к 50-летию Советской власти) // Материалы к хим. конф. ВХО им. Д. И. Менделеева. Саратов, 1967. С. 5–9.
145. Разработка методов раздельного определения полиэтоксиамина и полиэтиленгликоля на различных стадиях аналитического контроля производства вискозного волокна // Материалы к хим. конф. ВХО им. Д. И. Менделеева. Саратов. 1967. С. 50–51. В соавт. с Петриковой К. Г., Фруминой Н. С.
146. Рец. на кн.: Бусев А. И., Типцова В. Г., Иванов В. М. Практическое руководство по аналитической химии редких элементов. М.: Химия, 1966 // Изв. вузов. Химия и хим. технология. 1967. Т. 10, № 11. С. 1294.
147. Сравнительное изучение металлохромных индикаторов для прямого комплексонометрического определения алюминия // Изв. вузов. Химия и хим. технология. 1967. Т. 10, № 9. С. 1060–1061. В соавт. с Молот Л. А., Немковой Н. К.
148. Сравнительное изучение методов определения цинка в сточных водах // Техн. и экон. информ. Сер. Охрана труда и техника безопасности. Очистка сточ. вод и отходящих газов в хим. пром-сти. Саратов, 1967. Вып. 3. 4 с. В соавт. с Петриковой К. Г., Фруминой Н. С., Муллиной Р. М.
149. Фотометрическое определение никеля и кобальта с применением бис-(4-натрийтетразолилазо-5)-этилацетата // Журн. аналит. химии. 1967. Т. 22, вып. 10. С. 1523–1526. В соавт. с Фруминой Н. С., Горюновой Н. Н.
150. Ассортимент реактивов на бром. Сер. Орган. реактивы для определения неорган. ионов. М.: НИИТЭХим, 1968, 43 с. В соавт. с Фруминой Н. С., Интелегатор М. Д., Никурашиной М. Л.
151. Ассортимент реактивов на йод. Сер. Орган. реактивы для определения неорган. ионов. М.: НИИТЭХим, 1968, 43 с. В соавт. с Фруминой Н. С., Интелегатор М. Д., Ковалевой В. С.
152. Ассортимент реактивов на кислород. Сер. Орган. реактивы для определения неорган. ионов. М.: НИИТЭХим, 1968, 35 с. В соавт. с Фруминой Н. С., Давыдовой Н. И., Интелегатор М. Д.
153. Ассортимент реактивов на уран // Сер. Орган. реактивы для определения неорган. ионов. М.: НИИТЭХим, 1968, 63 с. В соавт. с Фруминой Н. С., Черновой М. А., Трусовой М. И.
154. Ассортимент реактивов на хлор. Сер. Орган. реактивы для определения неорган. ионов. М.: НИИТЭХим, 1968, 49 с. В соавт. с Фруминой Н. С., Интелегатор М. Д., Черновой М. А.
155. Геометрическое моделирование объемных редокс-реакций // Применение органических реактивов в анализе / Под ред.

- И. С. Мустафина. Саратов, 1968. С. 3–21. В соавт. с Фруминой Н. С.
156. Исследование взаимодействия трифенилметановых красителей с алюминием. 1. Хромазурол // Применение органических реактивов в анализе / Под ред. И. С. Мустафина. Саратов, 1968. С. 61–70. В соавт. с Молот Л. А., Андроновой А. П.
 157. Исследование взаимодействия трифенилметановых красителей с алюминием. 2. Эриохромцианин // Применение органических реактивов в анализе / Под ред. И. С. Мустафина. Саратов, 1968. С. 71–78. В соавт. с Молот Л. А., Борисовой Г. М.
 158. Исследование комплексообразования тиосемикарбазона 5-хлорфурилакролеина // Применение органических реактивов в анализе / Под ред. И. С. Мустафина. Саратов, 1968. С. 46–60. В соавт. с Керенцевой В. П., Липановой М. Д.
 159. К методике фазового разделения смесей, содержащих тройные вольфрамиты щелочноземельных элементов // Применение органических реактивов в анализе / Под ред. И. С. Мустафина. Саратов, 1968. С. 136–142. В соавт. с Фруминой Н. С., Аграновской Л. А., Захаровой Н. Г., Федоровым Е. Е.
 160. N-(2-хлорбензоил)-фенилгидроксиламин – новый колориметрический реактив на пентавалентный ванадий // Применение органических реактивов в анализе / Под ред. И. С. Мустафина. Саратов, 1968. С. 126–135. В соавт. с Нехаенко Т. М., Фруминой Н. С., Высокосовой И. А.
 161. Новый редокс-индикатор для селективного титрования хрома в присутствии ванадия // Современные методы химической технологии и контроля производства: Материалы докл. совещ. работников вузов и завод. лаб. Юго-Востока СССР. Ростов н/Д, 1968. С. 20–21. В соавт. с Трегуб Е. Г., Фруминой Н. С., Харламовой Л. Н., Петриковой К. Г.
 162. О структуре продукта взаимодействия молибдата аммония с галловой кислотой // Применение органических реактивов в анализе / Под ред. И. С. Мустафина. Саратов, 1968. С. 31–38. В соавт. с Ковалевой А. Г., Леоновой Н. А.
 163. Об аналитических возможностях «тетра» (бис-(4-натрийтетразолилazo-5)-этилацетата) // Применение органических реактивов в анализе / Под ред. И. С. Мустафина. Саратов, 1968. С. 22–30. В соавт. с Фруминой Н. С., Горюновой Н. Н.
 164. Определение алюминия в твердых растворах алюмината лантана-титаната кальция // Завод. лаб. 1968. Т. 34, № 4. С. 408. В соавт. с Молот Л. А., Архангельской А. С., Трусовой М. И.
 165. Определение меди в высоколегированных сталях с помощью специфичных реактивов // Применение органических реактивов в анализе / Под ред. И. С. Мустафина. Саратов, 1968. С. 143–150. В соавт. с Фруминой Н. С., Интелегатор М. Д.
 166. Органические реактивы в аналитической химии циркония и гафния. 3. Сравнение реактивов для аналитического определения циркония // Применение органических реактивов в анализе / Под ред. И. С. Мустафина. Саратов, 1968. С. 79–86. В соавт. со Щукиной В. С.

167. Органические реактивы в аналитической химии циркония и гафния. 4. Оксиантрахиноны как реактивы на цирконий // Применение органических реактивов в анализе / Под ред. И. С. Мустафина. Саратов, 1968. С. 87–99. В соавт. со Шукиной В. С., Даниловой А. Д.
168. Органические реактивы в аналитической химии циркония и гафния. 5. Проверка стабильности кислых растворов оксихлорида циркония // Применение органических реактивов в анализе / Под ред. И. С. Мустафина. Саратов, 1968. С. 100–110. В соавт. со Шукиной В. С.
169. Предисловие // Бабачев Г. Н. Наръчник по аналитична химия. София: Техника, 1968. С. 3–6. На болг. яз.
170. Рец. на кн.: Бабачев Г. Н. Анализ на води. София: Техника, 1967. 335 с., ил. На болг. яз. // Химия и индустрия. 1968. № 4. С. 158. На болг. яз. В соавт. с Чугреевой Н. В.
171. Анализ металлов. Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 1969. Вып. 3. 56 с. В соавт. с Ковалевой А. Г.
172. Ассортимент реактивов на бор. Сер. Орган. реактивы для определения неорган. ионов. М.: НИИТЭХим, 1969. 67 с. В соавт. с Суховой Л. К., Фруминой Н. С., Чупуровой Ю. А.
173. Ассортимент реактивов на ванадий. Сер. Орган. реактивы для определения неорган. ионов. М.: НИИТЭХим, 1969. 87 с. В соавт. с Нехаенко Т. М., Фруминой Н. С.
174. Ассортимент реактивов на кремний. Сер. Орган. реактивы для определения неорган. ионов. М.: НИИТЭХим, 1969. 39 с. В соавт. с Молот Л. А., Чепуровой Ю. А.
175. Ассортимент реактивов на медь. Сер. Орган. реактивы для определения неорган. ионов. М.: НИИТЭХим, 1969. 139 с. В соавт. с Фруминой Н. С., Интелегатор М. Д.
176. Ассортимент реактивов на рений. Сер. Орган. реактивы для определения неорган. ионов. М.: НИИТЭХим, 1969. 37 с. В соавт. с Фруминой Н. С., Немковой Н. К., Никурашиной М. Л.
177. Ассортимент реактивов на технеций. Сер. Орган. реактивы для определения неорган. ионов. М.: НИИТЭХим, 1969. 27 с. В соавт. с Немковой Н. К., Фруминой Н. С.
178. Ассортимент реактивов на титан. Сер. Орган. реактивы для определения неорган. ионов. М.: НИИТЭХим, 1969. 71 с. В соавт. с Ивановой А. Н., Ковалевой А. Г., Еременко С. Н.
179. N-(o'-хлорбензоил)-N-фенилгидроксиламин (СI-БФГА) и ацетоацетилфенилгидроксиаминовая кислота – новые реактивы на ванадий // Органические реагенты в неорганическом анализе / Под ред. проф. И. С. Мустафина. М.: Наука, 1969. С. 352–356. В соавт. с Нехаенко Т. М., Фруминой Н. С., Высоковой И. А.
180. О природе критической кислотности редокс-индикаторов // Органические реагенты в неорганическом анализе / Под ред. проф. И. С. Мустафина. М.: Наука, 1969. С. 138–143. В соавт. с Фруминой Н. С., Никурашиной М. Л., Миловановой Г. С.
181. О состоянии азосоединений 8-оксихинолина в растворе // Органические реагенты в неорганическом анализе / Под ред. проф. И. С. Мустафина. М.: Наука, 1969. С. 131–137. В соавт. с Сивановой О. В.

182. Органические реактивы в аналитической химии циркония и гафния. 6. Новый реактив — цирконин и его практическое использование // Органические реагенты в неорганическом анализе / Под ред. проф. И. С. Мустафина. М.: Наука, 1969. С. 345—351. В соавт. со Шукиной В. С.
183. Очерки по истории химии. Саратов: Изд-во Сарат. ун-та, 1969. Вып. 1. 136 с.
184. Полиокситрифенилметановые красители — реактивы на алюминий. Определение алюминия с помощью пирокатехинового фиолетового и пирогаллолового красного // Органические реагенты в неорганическом анализе / Под ред. проф. И. С. Мустафина. М.: Наука, 1969. С. 205—209. В соавт. с Архангельской А. С., Молот Л. А.
185. Спектрофотометрическое исследование взаимодействия некоторых катионов с бис-(4-натрийтетразолилазо-5)-этилацетатом // Журн. неорган. химии. 1969. Т. 24, вып. 6. С. 1510—1515. В соавт. с Фруминой Н. С., Горюновой Н. Н.
186. Фенолкислоты трифенилметанового ряда как реактивы на алюминий и железо // Органические реагенты в неорганическом анализе / Под ред. проф. И. С. Мустафина. М.: Наука, 1969. С. 210—217. В соавт. с Лисенко Н. Ф.
187. Фотометрическое определение железа III и железа II с применением бис-(4-натрийтетразолилазо-5)-этилацетата // Журн. аналит. химии. 1969. Т. 24, вып. 7. С. 1049—1052. В соавт. с Фруминой Н. С., Горюновой Н. Н.
188. Vanadox — a new reagent for the photometric determination of vanadium // Talanta. 1969. Vol. 16, N 1. P. 138—143. With Frumina N. S., Nikurashina M. L., Vechora M. K.
189. Ассортимент реактивов на висмут. Сер. Орган. реактивы для определения неорган. ионов. М.: НИИТЭХим, 1970. 64 с. В соавт. с Ивановой А. Н., Еременко С. Н.
190. Ассортимент реактивов на серебро. Сер. Орган. реактивы для определения неорган. ионов. М.: НИИТЭХим, 1970. 47 с. В соавт. с Фруминой Н. С., Давыдовой Н. И., Чепуровой Ю. А., Петриковой К. Г.
191. Ассортимент реактивов на сурьму. Сер. Орган. реактивы для определения неорган. ионов. М.: НИИТЭХим, 1970. 39 с. В соавт. с Ивановой А. Н., Ковалевой В. С., Муллиной Р. М.
192. Ассортимент реактивов на фтор. Сер. Орган. реактивы для определения неорган. ионов. М.: НИИТЭХим, 1970. 60 с. В соавт. с Фруминой Н. С., Интелегатор М. Д., Трусовой М. И.
193. Бриллиантовый зеленый. Реактив для определения йода. М.: НИИТЭХим, 1970. 8 с. В соавт. с Кофман М. Д., Еременко С. Н.
194. О таутомерных превращениях п-сульфобензилазохромотроповой кислоты в растворах // Физические и физико-химические методы анализа органических соединений. М.: Наука, 1970. С. 248—253. В соавт. с Черновой Р. К.
195. Определение больших количеств циркония колориметрическим методом // Органические реагенты в аналитической химии циркония. М.: Наука, 1970. С. 104—109. В соавт. со Шукиной В. С.
196. Сульфосалициловая кислота. Реактив для определения железа. М.: НИИТЭХим, 1970. 16 с. В соавт. с Лисенко Н. Ф.

197. Тетра. М.: Союзглавреактив, 1970. 9 с. В соавт. с Горюновой Н. Н., Фруминой Н. С.
198. Фенилантрапиловая кислота. Сер. Ассортимент орган. реактивов для определения неорган. ионов. М.: НИИТЭХим, 1970. 23 с. В соавт. с Фруминой Н. С., Петриковой К. Г.
199. Хромотроповая кислота. Реактив для определения титана. М.: НИИТЭХим, 1970. 11 с. В соавт. с Чеपुरовой Ю. А., Ивановой А. Н.
200. Ассортимент реактивов на углерод. Сер. Орган. реактивы для обнаружения неорган. ионов. М.: НИИТЭХим, 1971. 48 с. В соавт. с Фруминой Н. С., Милиным В. П., Интеллегатор М. Д.
201. Тиосемикарбазоны некоторых замещенных акролеина в аналитической химии палладия и платины. 1. Изучение абсорбционных и кислотно-основных свойств реагентов // Журн. аналит. химии. 1971. Т. 26, вып. 6. С. 1144–1150. В соавт. с Керенцевой В. П., Липановой М. Д.
202. Ассортимент реактивов на азот. Сер. Орган. реактивы для обнаружения неорган. ионов. М.: НИИТЭХим, 1972. 83 с. В соавт. с Суховой Л. К., Фруминой Н. С., Еременко С. Н.
203. Ассортимент реактивов на алюминий. Сер. Орган. реактивы для обнаружения неорган. ионов. М.: НИИТЭХим, 1972. 118 с. В соавт. с Молот Л. А., Чеपुरовой Ю. А., Немковой Н. К., Муллиной Р. М.
204. Ассортимент реактивов на железо. Сер. Орган. реактивы для обнаружения неорган. ионов. М.: НИИТЭХим, 1972. 88 с. В соавт. с Лисенко Н. Ф., Суховой Л. К., Еременко С. Н.

II. *Использованные источники*

1. Саратовский университет. 1909–1959. Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 1959. 291 с.
2. *Пустовалов Л. В., Бальшина В. В.* О геохимической истории Упинских отложений // Тр. Всесоюз. геол.-развед. об-ния. 1933. Вып. 285. С. 105–131.
3. *Bartoli A., Papasogli G.* Sintesi di varii e nuovi composti organici per mezzo dell' elettrolisi dell' aqua e di varie soluzioni acide, alcaline, alcooliche con elettrodi di carbone // Gazz. Chim. Ital. 1881. Vol. 11. P. 468–479.
4. *Bartoli A., Papasogli G.* Sull' elettrolisi di varie soluzioni acide neutre ed alcaline con elettrodi di grafite // Gazz. Chim. Ital. 1882. Vol. 12. P. 113–117.
5. Происхождение нефти / Под ред. чл.-кор. АН СССР М. Ф. Мирчинка. М.: Гостоптехиздат, 1955. 484 с.
6. *Фаворская Т. А.* Алексей Евграфович Фаворский. 1860–1945. М.: Наука, 1980. 254 с.
7. *Гречкин Н. П., Кузнецов В. И.* Александр Ермингельдович Арбузов. 1877–1968. М.: Наука, 1977. 232 с.
8. *Кузнецов В. И.* Диалектика развития химии. От истории к теории развития химии. М.: Наука, 1973. 327 с.
9. *Кедров Б. М.* Эволюция понятия элемента в химии. М.: Изд-во Акад. пед. наук, 1956. 360 с.
10. Соединения переменного состава / Под ред. Б. Ф. Ормонта. Л.: Химия, 1969. 520 с.
11. *Шептунова З. И.* Химическое соединение и химический индивид. М.: Наука, 1972. 214 с.

12. *Волькенштейн М. В.* Строение и физические свойства молекул. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1955. 638 с.
13. *Фаерштейн М. Г.* История учения о молекуле в химии. М.: Изд-во АН СССР, 1961. 368 с.
14. *Красовицкая Т. И.* Электронные структуры атомов и химическая связь. М.: Просвещение, 1980. 224 с.
15. Развитие учения о валентности / Под ред. В. И. Кузнецова. М.: Химия, 1978. 248 с.
16. *Coulson C. A.* Valence. Oxford: Oxford University Press, 1961. 404 p.
17. *Кобозев Н. И.* Общие принципы каталитической активности. Принцип ансамбля в катализе // Учен. зап. Моск. ун-та. 1946. Вып. 86 (1). С. 13–97.
18. *Чернова Р. К.* Эффекты гидрофобных взаимодействий в системах органические реагенты – поверхностно-активные вещества – ионы металлов и значение их для анализа: Автореф. дис. ... докт. хим. наук. М.: Саратов. ун-т, 1982. 40 с.
19. *Владимиров Л. В., Шульгина М. Н.* Трилометрическое определение кальция в присутствии магния и фосфат иона // Завод. лаб. 1962. Т. 28, № 5. С. 548–549.
20. *Александрович-Мельникова А. С.* Комплексонометрическое определение кальция и магния в пищевой соли с металл-индикатором гидрон II / Изв. вузов. Пищ. технология. 1963. Вып. 2. С. 167–169.
21. *Алимарин И. П.* Письмо профессору И. С. Мустафину. 1968, 9 сент. // Арх. семьи Мустафиных.
22. *Кузнецов В. И.* Эволюция представлений об основных законах химии. М.: Наука, 1967. 310 с.
23. *Соловьев Ю. И.* Очерки по истории физической химии. М.: Наука, 1964. 342 с.
24. *Капустинский А. Ф.* Очерк по истории неорганической и физической химии в России от Ломоносова до Великой Октябрьской социалистической революции. М.: Изд-во АН СССР, 1949. 165 с.
25. *Быков Г. В.* История классической теории химического строения. М.: Изд-во АН СССР, 1960. 311 с.
26. *Мусабеков Ю. С.* История органического синтеза в России. М.: Изд-во АН СССР, 1958. 286 с.
27. *Багалин А. Х.* Аналитическая химия и пути ее развития // Тр. Оренб. с.-х. ин-та. 1961. Т. 12. С. 1–80.
28. Революционная диалектика марксистского реализма // Коммунист. 1985. № 1. С. 35–45.
29. После выступления «Коммуниста». «Революционная диалектика марксистского реализма». Отклики академиков В. А. Амбарцумяна и Б. М. Кедрова // Коммунист. 1985. № 10. С. 127–128.
30. Почта журнала. О статье «Революционная диалектика марксистского реализма». Отклики академика АН КазССР Ж. Абдильдина и профессоров В. И. Кузнецова, А. Н. Мищенко и др. // Коммунист. 1985. № 11. С. 125–127.
31. *Кедров Б. М.* Марксистская философия: ее предмет и роль в интеграции современных наук // Вопр. философии. 1982. № 1. С. 53–62.

32. Обзор откликов на статью Б. М. Кедрова «Марксистская философия: ее предмет и роль в интеграции современных наук» // *Вопр. философии*. 1982. № 12. С. 124–135.
33. *Менделеев Д. И.* Основы химии // Соч. Т. 24. Л.; М.: Изд-во АН СССР, 1954. 461 с.
34. *Менделеев Д. И.* Письма о заводах. Письмо третье // Соч. Т. 20. Л.; М.: Изд-во АН СССР, 1950. 592 с.
35. *Волькенштейн М. В.* Трактат о лженауке // *Химия и жизнь*. 1975. № 10. С. 73–83.
36. *Волькенштейн М. В.* О феномене псевдонауки // *Природа*. 1983. № 11. С. 96–101.
37. *Менделеев Д. И.* Учебник органической химии Штреккера // Соч. Т. 25. Л.; М.: Изд-во АН СССР, 1949. 646 с.

III. Литература о И. С. Мустафине

1. *Чугреева Н., Фрумина Н.* Диссертация защищена // Ленин. путь (СГУ). 1959. 26 сент.
2. *Бурлак Л.* Трудный экзамен: Очерк о зав. каф. аналит. химии СГУ И. С. Мустафине // *Коммунист (Саратов)*. 1960. 17 янв.
3. Орденом «Знак Почета» награжден И. С. Мустафин // Ленин. путь (СГУ). 1961. 30 сент.
4. *Светлова Г.* Гидроны сигнализируют // *Коммунист (Саратов)*. 1963. 30 нояб.
5. *Фрумина Н.* Признание заслуг ученого // Ленин. путь (СГУ). 1963. 16 нояб.
6. *Куриленко И.* Ученый приглашен на международный конгресс // *Коммунист (Саратов)*. 1964. 5 сент.
7. *Крешков А. П.* Основы аналитической химии. М.: Химия, 1976. Т. 1. 472 с.
8. *Сухова Л.* Комсомольцы 20-х годов // Ленин. путь (СГУ). 1968. 1 апр.
9. *Попова С.* Путь, озаренный Октябрем (К 60-летию со дня рождения И. С. Мустафина) // Ленин. путь (СГУ). 1968. 13 сент.
10. *Рязанов В.* Путь ученого // *Коммунист (Саратов)*. 1968. 21 сент.
11. *Крючкова Е. С., Камай Г. Х.* Исаак Савельевич Мустафин // *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 1968. Т. 11, № 9. С. 1081–1082.
12. И. С. Мустафин (К 60-летию со дня рождения) // *Журн. аналит. химии*. 1968. Т. 23, вып. 9. С. 1429–1430.
13. И. С. Мустафин (Некролог) // *Коммунист (Саратов)*. 1968. 3 дек.
14. И. С. Мустафин (Некролог) // Ленин. путь (СГУ). 1968. 13 дек.
15. Проф. д-р И. С. Мустафин на 60 години // *Строительни материали и силикатна промышленность*. 1969. № 1. С. 32. На болг. яз.
16. Исаак Савельевич Мустафин (Некролог) // *Журн. аналит. химии*. 1969. Т. 24, вып. 5. С. 806.
17. *Ильин Б.* Служение науке // Ленин. путь (СГУ). 1978. 22 сент.
18. *Ильин Б.* В память об ученом (Конф., посвящ. памяти проф. И. С. Мустафина) // *Коммунист (Саратов)*. 1978. 26 сент.

19. *Ковалева А.* Как молоды мы были // Ленин. путь (СГУ). 1979. 7 дек.
20. *Соколовская З. К.* 300 биографий ученых: Биобиблиогр. справ. М.: Наука, 1982. С. 287–288.
21. *Казаков Б. И.* Его фронтовые дороги // Ленин. путь (СГУ). 1984. 17 февр.
22. *Абрамова В. С.* Во имя победы. Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 1986. 140 с.
23. *Мустафин Д. И., Думова Н. К.* Исаак Савельевич Мустафин, 1908–1968. Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 1986. 48 с.

Именной указатель

- Абалдуев Б. В. 87
Аграновская Л. А. 83
Альдер К. 32
Алимарин И. П. 30, 44, 78, 84, 86
Амброжий М. Н. 27
Арбузов А. Е. 5, 42
Артисевич В. А. 8
- Бабко А. К. 30
Багдасаров К. Н. 85
Байер А. 32, 33
Бартоли А. 34
Басаргин Н. Н. 85
Баталин А. Х. 92
Бах А. Н. 5
Берцелиус И. Я. 58, 95
Бусев А. И. 49
Бутлеров А. М. 38
Быков Г. В. 92
- Вадивасов Д. В. 8, 13, 14
Вальден П. 92
Вант-Гофф Я. Г. 19
Вернадский В. И. 7, 39
Волькенштейн М. В. 98
- Голуб В. П. 28
Горюнова Н. Н. 87
Гринберг А. А. 49
- Давыдова Е. Д. 83
Дзвильдова Н. И. 83
Демьянов Н. Я. 5
Дильс О. 32
Додонов Я. Я. 19, 27, 90
- Жуков И. И. 28
- Зелинский Н. Д. 5, 19, 22, 38
- Иванова А. Н. 83
Ипатьев В. Н. 19
- Капустинский А. Ф. 92
Кашковская Е. К. 83, 87
Керенцева В. П. 87
- Киров С. М. 21
Киселев С. В. 92
Клячко Ю. А. 30, 85
Кобозев Н. И. 58, 59
Ковалева А. Г. 8, 83
Ковалева В. С. 83
Коренман И. М. 30, 84
Кручкова Е. С. 66, 67, 83, 87
Кузнецов Виталий И. 30, 84
Кузнецов Владимир И. 92
Кульберг Л. М. 28-30
Курнаков Н. С. 5, 72
- Ленин В. И. 93, 94
Ленская В. Н. 83
Лисенко Н. Ф. 87
Ляликов Ю. С. 30
- Макарова Н. П. 83
Маркс К. 93, 96
Мейер Э. 92
Менделеев Д. И. 5, 95, 97-101
Милин В. П. 83
Миронов С. И. 39
Мирчинк М. Ф. 41
Молот Л. А. 83
Мусабеков Ю. С. 92
Мустафин А. И. 100
Мустафин Д. И. 100
Мустафин С. У. 9-11, 25
Мустафин Х. С. 11, 12
Мустафина А. С. 9, 11
Мустафина Т. Ф. 100
Мустафина Ф. С. 11, 25
Муштакова С. П. 8
- Назаренко В. А. 85
Немкова Н. К. 83
Никольский Б. Н. 21
Никурашина М. Л. 76
Новикова А. Н. 83
Ноддак В. 48
Ноддак И. 8, 48, 49
- Орджоникидзе С. 20
Орлов Н. А. 19-22, 31, 32, 38
Оствальд В. 6

- Панкратова А. М. 92
Папосогли Г. 34
Петрикова К. Г. 83
Пилипенко А. Т. 30, 84
Плеханов Г. В. 93
Пономарев А. А. 25
Пустовалов Л. В. 33, 34
Пятницкий И. В. 85
- Раковский Е. В. 34
Рыбаков Б. А. 92
Рязанов И. П. 25, 27
- Саввин С. Б. 84
Сиванова О. В. 8, 70, 87
Соловьев Ю. И. 92
- Трегуб Е. Г. 76
Трофимова А. В. 83
- Фаворский А. Е. 5, 42
Фортунатов А. В. 25
Фрумина Н. С. 70, 72, 76, 83,
87
- Харченко В. Г. 8, 26
Хворостин Г. К. 19, 22
Храмов В. П. 8, 49
- Челинцев В. В. 5, 8, 18, 19
Чернова Р. К. 8, 68, 87
Чугреева Н. В. 83
- Шахкельдиан А. Б. 28
Шлезингер Н. А. 19
- Щукина В. С. 79, 87
- Энгельс Ф. 98
- Яцимирский К. Б. 30, 84

Оглавление

	От автора	5
Глава первая.	Жизненный путь	9
Глава вторая.	Ученый	31
Глава третья.	Педагог	88
	Основные даты жизни и деятельности И. С. Мустафина	104
	Библиография	106
	Именной указатель	123

Научное издание

Борис Игнатьевич Казаков

Исаак Савельевич Мустафин
1908—1968

Утверждено к печати
Редколлегией научно-биографической серии
Академии наук СССР

Редактор издательства В. П. Большаков
Художник А. Г. Кобрин
Художественный редактор А. В. Здрилько
Технический редактор Т. В. Калинина
Корректоры А. Б. Васильев, Ф. И. Грушкова

ИБ № 39736

Сдано в набор 28.06.89
Подписано к печати 05.01.90
Т-00309. Формат 84×108^{1/32}
Бумага книжно-журнальная импортная
Гарнитура обыкновенная
Печать высокая
Усл. печ. л. 6,72. Усл. кр. отт. 6,93. Уч.-изд. л. 6,8
Тираж 550 экз. Тип. зак. 3712
Цена 45 коп.

Ордена Трудового Красного Знамени
издательство «Наука»
117864, ГСП-7, Москва, В-485,
Профсоюзная ул., 90

2-я типография издательства «Наука»
121099, Москва, Г-99, Шубинский пер., 6

ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»

готовит к изданию книги:

Н. Н. Ушакова

Виталий Григорьевич Хлопин

(1890—1950)

Книга представляет собой первый полный очерк жизни, научной, педагогической, общественной деятельности известного советского ученого, Героя Социалистического Труда, лауреата трех Государственных премий СССР академика Виталия Григорьевича Хлопина, научные интересы которого охватывали широкий круг проблем аналитической и неорганической химии, химии и геохимии радиоэлементов, химии и технологии радия. В. Г. Хлопин — глава крупной советской радиохимической школы. Он руководил созданием первого в России радиевого завода.

Для всех интересующихся историей науки.

Е. С. Бойко

Александр Александрович Андронов

(1901—1952)

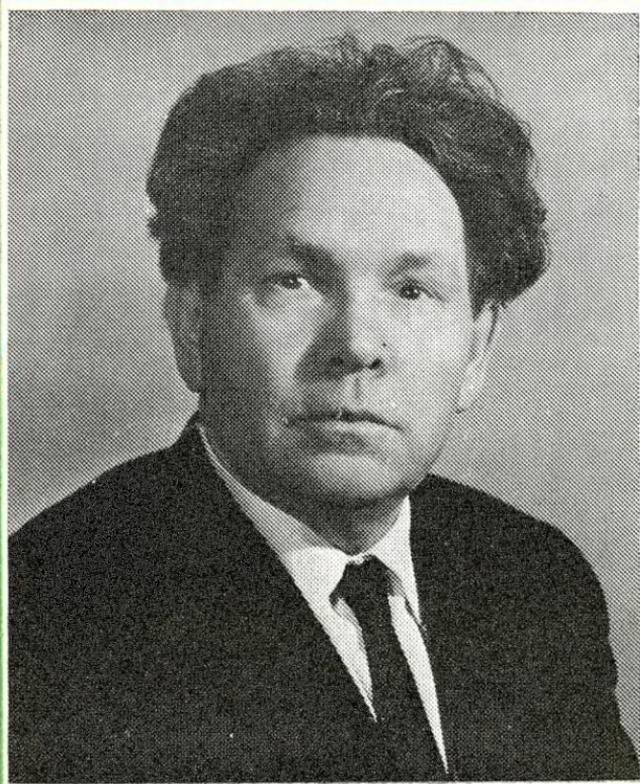
Все мы помним героя фильма «Все остается людям» академика Дронова. Авторов фильма на создание его образа вдохновила жизнь известного советского физика Александра Александровича Андропова — одного из основоположников теории нелинейных колебаний. А. А. Андронов создал две научные школы: горьковскую школу нелинейных колебаний и московскую школу нелинейной теории автоматического регулирования. В книге освещены труды ученого: математическое обоснование им теории автоколебаний, решение многих задач теоретической радиотехники.

Для широкого круга читателей, интересующихся историей отечественной науки.

Адреса книготорговых предприятий «Академкнига»

Магазины «Книга — почтой»

- 252107 **Киев**, ул. Татарская, 6
197345 **Ленинград**, ул. Петрозаводская, 7
117393 **Москва**, ул. Академика Пилюгина, 14, корп. 2
Магазины «Академкнига» с указанием отделов «Книга — почтой»
480091 **Алма-Ата**, ул. Фурманова, 91/97 «Книга — почтой»
370001 **Баку**, ул. Коммунистическая, 51 «Книга — почтой»
232600 **Вильнюс**, ул. Университетского, 4 «Книга — почтой»
690088 **Владивосток**, Океанский пр-т, 140 «Книга — почтой»
320093 **Днепропетровск**, пр-т Гагарина, 24 «Книга — почтой»
734001 **Душанбе**, пр-т Ленина, 95 «Книга — почтой»
375002 **Ереван**, ул. Туманяна, 31
664033 **Иркутск**, ул. Лермонтова, 289 «Книга — почтой»
420043 **Казань**, ул. Достоевского, 53 «Книга — почтой»
252030 **Киев**, ул. Ленина, 42
252142 **Киев**, пр-т Вернадского, 79
252025 **Киев**, ул. Осипенко, 17
277012 **Кишинев**, пр-т Ленина, 148 «Книга — почтой»
343900 **Краматорск**, Донецкой обл., ул. Марата, 1 «Книга — почтой»
660049 **Красноярск**, пр-т Мира, 84
443002 **Куйбышев**, пр-т Ленина, 2 «Книга — почтой»
191104 **Ленинград**, Литейный пр-т, 57
190164 **Ленинград**, Таможенный пер. 2
194064 **Ленинград**, Тихорецкий пр-т, 4
220012 **Минск**, Ленинский пр-т, 72 «Книга — почтой»
103009 **Москва**, ул. Горького, 19-а
117312 **Москва**, ул. Вавилова, 55/7
630076 **Новосибирск**, Красный пр-т, 51
630090 **Новосибирск**, Морской пр-т, 22 «Книга — почтой»
142284 **Протвино**, Московской обл., ул. Победы, 8
142292 **Пушино** Московской обл., МР «В», 1 «Книга — почтой»
620151 **Свердловск**, ул. Мамина-Сибиряка, 137 «Книга — почтой»
700000 **Ташкент**, ул. Ю. Фучика, 1
700029 **Ташкент**, ул. Ленина, 73
700070 **Ташкент**, ул. Ш. Руставели, 43
700185 **Ташкент**, ул. Дружбы народов, 6 «Книга — почтой»
634050 **Томск**, наб. реки Ушайки, 18
450059 **Уфа**, ул. Р. Зорге, 10 «Книга — почтой»
450025 **Уфа**, ул. Коммунистическая, 49
720001 **Фрунзе**, бульвар Дзержинского, 42 «Книга — почтой»
310078 **Харьков**, ул. Чернышевского, 87 «Книга — почтой»



Б.И.Казаков

Исаак Савельевич

МУСТАФИН

45 коп.

