

СОЗДАНИЕ И ЭВОЛЮЦИЯ ВЫСОКОЧИСТЫХ ВЕЩЕСТВ ПРИМЕНЯЕМЫХ В ОТРАСЛИ АВИАКОСМИЧЕСКОГО ПРИБОРОСТРОЕНИЯ. ЧАСТЬ II

А.М. Смолеговский, доктор хим. наук, главный научный сотрудник

E-mail: smolegovskiy@mail.ru

А.Н. Харитонова, научный сотрудник

E-mail: alnickaeritonova@gmail.com

ИИЕиТ им. С.И.Вавилова РАН

Рассматривается развитие представлений о химии, веществе, степени его чистоты, способах ее достижения и выражения, движущих силах этого процесса, а также об открытии новых свойств высокочистых веществ и ярких проявлений свойств известных.

Ключевые слова: химия, химически чистые вещества, примеси.

CREATION AND EVOLUTION OF HIGHLY PURE SUBSTANCES USED IN THE DEVICE INDUSTRY. PART II

A.M. Smolegovsky, Doctor of Chem. Sciences, Chief Researcher

E-mail: smolegovskiy@mail.ru

A.N. Kharitonova, Researcher

E-mail: alnickaeritonova@gmail.com

FSBUS «ИЕТ РАН»

Development of ideas about chemistry, matter, degree of its purity, methods of its achievement and expression, the driving forces of this process, as well as the discovery of new properties of high-purity substances and vivid manifestations of the properties of the known ones are considered.

Key words: chemistry, chemically pure substances, impurities.

DOI: 10.25791/aviakosmos.11.2018.260

О развитии химии высокочистых веществ в России (по мотивам Всесоюзных конференций в Нижнем Новгороде в 1961–1995 гг.)

Академики Г.Г. Девярых, М.Ф. Чурбанов и другие представители Нижегородской (Горьковской) школы химии высокочистых веществ неоднократно высказывались о развитии понятий «высокочистое вещество» и «химия высокочистых веществ» [6, 35, 40, 47, 48, 49, 69]. Выше говорилось о приоритете Г.Г. Девярых в формулировке термина и трактовке понятия «высокочистого вещества», в обосновании их выделения из группы характеристик веществ особой чистоты. Еще раз повторим слова Г.Г. Девярых и М.Ф. Чурбанова о том, что «вещества с малым содержанием суммы примесей стали называть высокочистыми» [35, С. 7]. В этой фразе примечательно выражение – «стали называть», т.е. введенные термин и понятие вошли в химический лексикон и признаны всем химическим социумом. Статья [6] напоминает о том, что о химии высокочистых веществ как о самостоятельном научном направлении начали говорить в конце 1950-х–начале 1960-х гг. Автор имеет ввиду работы типа «Методы получения и анализа веществ особой чистоты» [46]. Исследования данного профиля, конечно, можно считать прародителем химии высокочистых веществ, но путь к истинно химическим работам предстоял немалый. При этом, пожалуй, главным была необходимость разработать фундаментальные вопросы чистоты вещества. Автор, видимо, прав, когда он пишет о середине 1960-х гг. как о важном этапе одновременного обособления технологии особо чистых веществ в виде так называемой тонкой химической технологии и постепенном формировании предмета химии высокочистых веществ. Заметим, сказано это в 1988 г., т.е. с достаточным интервалом для современного ускоренного научного прогресса. Кстати, сам 1988 г. служит скорее рубежом формирования предмета химии ВЧВ как научной дисциплины, а не образованного ранее русла исследовательских устремлений.

В работе [6] автор, говоря о проблеме индивидуальности вещества, приводит характерное для Д.И. Менделеева высказывание

о самостоятельности химических элементов, которая, как он (Д.И. Менделеев) полагает, очень важна для философской мысли. Уместная цитата. Ибо Д.И. Менделеев даже сожалел, что великий философ И. Кант не был знаком с периодической системой химических элементов, поскольку в противном случае он (по мнению Д.И. Менделеева) к двум наиболее поразившими его явлениям (звездное небо над нами и нравственный принцип внутри нас) несомненно присоединил бы третье. Автор правомерно констатирует наличие прямой и обратной связи классического закона Пруста (1800–1808) с химией высокочистых веществ. Как раз последняя показала, что закон Пруста о постоянстве свойств индивидуального вещества строго соблюдается именно для высокочистых веществ. И обратно, выполнение этого закона в химии служит критерием выделения особого состояния вещества – высокочистого.

Всесоюзные конференции по химии высокочистых веществ как зеркало ее развития в нашей стране

Существенную роль в понимании разных аспектов эволюции химии высокочистых веществ играет лаконичная по форме (4 страницы) и на редкость емкая и конкретная по содержанию (анализ 10 конференций по химии высокочистых веществ) статья основоположника данной области химической науки академика Г.Г. Девярых [49].

Работа [49] написана в 1995 г. – не самый лучший период в экономической жизни страны. Проецируя его на жизнь научную, на сферу собственной деятельности, автор сетует на уменьшение доли докладов по анализу высокочистых веществ на X научной конференции и на «уменьшение возможностей заниматься в настоящее время исследованиями по продвижению в область более чистых веществ». В то же время он подчеркивает, что «развитие цивилизации и внутренняя логика развития науки требует расширения и углубления исследований в области химии высокочистых веществ». Ученого-патриота остро тревожит вопрос: «Какое участие могут принять в этой работе химики России» [49, С. 8]. Им и заканчивается статья. Ныне, спустя 7 лет после ухода

из жизни академика Г.Г. Девярых, деятельность ИХВВ им. Г.Г. Девярых РАН под руководством его ученика акад. М.Ф. Чурбанова позволяет позитивно ответить на этот вопрос. Иллюстрацией сказанного служит недавно опубликованная работа академика М.Ф. Чурбанова «Актуальные задачи химии высокочистых веществ» [15].

Но вернемся к событиям, описанным в статье [49]. В сентябре 1961 г. состоялась Первая конференция в Нижнем Новгороде (тогда в г. Горьком) по химии высокочистых веществ и материалов. Фактически это была первая Всесоюзная конференция, из числа тех, которые вплоть до 1995 г. неизменно проводились в Нижнем Новгороде. Член-корреспондент, а затем академик Г.Г. Девярых стремился к объединению всех коллективов и исследователей страны, работающих над проблемой высокочистых веществ и материалов. Время, социальный заказ, логика развития области, успехи фундаментальных наук как сопряженных, так и непосредственно не связанных с данной сферой исследований, определяли тематику докладов конференций.

На первой научной конференции в Горьком было сделано 47 докладов, из которых получению особо чистых веществ посвящено – 10 %, а анализу – 78 %. Главный метод получения – процессы перекристаллизации (вспомним зарождение экспериментальной химии – аптекарское искусство, о котором сказано выше). Основная тематика докладов – глубокая очистка солей, металлов, элементарных полупроводников и методы их анализа. Несколько докладов огнесены к калориметрическому и объемно-весовому методам. Как и другие специалисты, автор рассматривает в качестве «катализатора» прогресса химии высокочистых веществ развитие атомной энергетики и сопутствующей ей радиохимии. Интересно, что в способах определения примесей доминировал спектральный анализ. Увы, ни одно из фигурирующих в докладах веществ нельзя было отнести к классу «С». Г.Г. Девярых подчеркивает, что и в момент завершения десятикратного цикла конференций, т.е. в 1995 г., также невозможно назвать такое вещество. Конечно, речь идет о разработанной в 1959 г.

профессором Б.Ф. Ормонтом первой классификации высокочистых веществ по степени чистоты. Согласно ей вещества подразделялись на классы А, В и С. Класс А составили вещества с суммарным содержанием примесей $10^{-1} \dots 10^{-2} \%$; класс В – $10^{-3} \dots 10^{-6} \%$; класс С – $10^{-7} \dots 10^{-10} \%$. Даже в 1995 г. класс С представлял «пустое множество». Но академик Г.Г. Девярых это не смущало, так как, по его мнению, «классификация являлась выражением большой веры в возможности методов глубокой очистки и анализов» [49, С. 5].

В 1963 г. произошли два важных события в жизни АН СССР и истории химии высокочистых веществ. По постановлению Общего собрания Академии наук было организовано Отделение физикохимии и технологии неорганических материалов АН СССР (позднее РАН). В декабре того же года в Горьком состоялась Вторая конференция по химии высокочистых веществ. Число зачитанных на ней докладов (97) вдвое превосходило число сообщений на Первой конференции. Возросла и доля докладов по получению высокочистых веществ (17,5 %). Аналитическая тематика составила 73 %. Как показали доклады, интенсивно развивались многоступенчатые методы глубокой очистки. А именно: ректификация и зонная перекристаллизация, а также химические транспортные реакции. (Историю и развитие теории транспортных реакций с 1925 г. до 1960-х гг. см. в монографиях [50, 51]). Кстати, в докладе Г.Г. Девярых речь шла о методе транспортных реакций и о проблемах глубокой очистки вещества другими способами – химическими, дистилляцией и ректификацией. Сообщения аналитического профиля свидетельствовали о начальном применении радиоактивационного метода и газовой хроматографии. Расширился круг «именитых» участников конференции, естественно, повысивший ее рейтинг. Наряду с академиком-секретарем Отделения физикохимии неорганических материалов АН СССР Н.М. Жаворонковым в работе конференции принял участие чл.-корр. АН СССР И.П. Алимарин, прочитавший доклад на тему «Современные успехи и проблемы определения микропримесей в полупроводниковых материалах». Содержание его

доклада апеллировало к необходимости повышения чистоты вещества, ибо именно в 1960-е гг. происходил переход от материалов атомной энергетики к полупроводникам, что выдвигало новые задачи перед химией высокочистых веществ. Расширение проблематики нашло отражение в тематике исследований – с 1964 г. она развивается и в открытой в г. Горьком Лаборатории стабилизации полимеров АН СССР, которая в 1968 г. была реорганизована в Институт химии АН СССР.

29 мая–1 июня 1968 г. состоялась III-я конференция по химии высокочистых веществ. Из 165 докладов 47,9 % относились к анализу и 16 % к получению высокочистых материалов; 17,5 % – к технике эксперимента и 9,6 % – к теории процессов разделения, теории разбавленных растворов. В числе главных тенденций исследований оказались, как показала конференция, многоступенчатые противоточные процессы очистки, особенно ректификация; радиоактивационные и электрохимические методы анализа. Как и ранее, приняли участие в работе конференции акад. Н.М. Жаворонков и теперь уже акад. И.П. Алимарин, ставший председателем Научного совета АН СССР по веществам особой чистоты. Четыре года спустя в г. Горьком прошла IV Всесоюзная конференция по химии высокочистых веществ. Было заслушано 182 доклада. Доля исследований, посвященных проблемам получения высокочистых веществ, составила 19,7 %; анализу – 42 %; материалам – 10,4 %; технике эксперимента и оборудованию – 17,6 %; теории – 9 %. Дальнейшее повышение степени очистки материалов помимо внутренней логики развития химии диктовалось и внешними факторами – требованиями бурно развивающейся микроэлектроники с ее многослойными структурами, выращиваемыми из газовой фазы. Отсюда значительный удельный вес докладов по получению и анализу летучих веществ и процессам осаждения из газовой фазы. А в связи с повышением требований к чистоте веществ появились доклады по загрязняющему действию материала аппаратуры и борьбе с загрязнениями в процессах получения, хранения и анализа. Отмечены Г.Г. Девярых и доклады по методикам спектрального анализа с использованием полого катода.

Интересно упоминание им кинетических методов, «которые впоследствии практического применения не нашли» [49, С. 6]. Невольно вспоминаются слова В.И. Вернадского из брошюры «О значении трудов М.В. Ломоносова в минералогии и геологии» [52], где автор говорит о необходимости излагать не только прагматическую историю научных достижений, но и реальную историю событий в науке, часть которых способствовала ее прогрессу, а другая оказалась не продуктивной.

В 1960-х гг. произошли важные события в изучении высокочистых металлов, первоначально воспринятые многими учеными в стране как «качественный прорыв». Ученик акад. П.Л. Капицы, сотрудник Института физических проблем АН СССР чл.-корр. АН СССР Н.Е. Алексеевский (1912–1993), исследовавший поведение металлов в области низких температур, пришел к выводу о способе их радикального очищения. Суть метода в получении кривой изменения остаточного электросопротивления при «гелиевых» температурах. Еще в 1936–1938 гг., когда по окончании Ленинградского политехнического института он работал в Харьковском физико-техническом институте, Н.Е. Алексеевский совместно со своим первым научным руководителем Л.В. Шубниковым и В.И. Хоткевичем изучал специфику разрушения сверхпроводимости металлов и сплавов при одновременном воздействии протекающего тока и внешнего магнитного поля. Вместе с Л.В. Шубниковым дал (1936) первое экспериментальное доказательство гипотезы Сильби о природе разрушения сверхпроводимости током. Он провел ряд исследований сверхпроводящих свойств чистых металлов и металлических сплавов. Эти обстоятельства позволили предположить, что и в исследованиях, выполненных в 1960-х гг., речь идет о принципиальном решении проблемы чистоты металлов. Однако многочисленные последующие эксперименты не подтвердили действенность «метода Капицы–Алексеевского». Причину этого в 1970-х гг. установил академик Г.Г. Девярых. Он показал, что чистоту металла определяют не одна характеристика (остаточное электросопротивление), а, по меньшей мере, две. Вторая – природа

примесей (их структура, геометрия и др.). В дальнейшем трактовка Г.Г. Девярых полностью подтвердилась.

252 доклада было заслушано на V-ой Всесоюзной конференции в Горьком в мае-июне 1976 г. Как и ранее, большая их часть посвящена анализу – 37,8 %. Доля докладов, в которых сообщается о получении веществ – 32,4 %; оборудованию, технике эксперимента выделено – 13,9 %; доклады о высокочистых материалах составляют – 6,6 %; на вопросы теории отведено – 5,4 %; свойствам высокочистых веществ уделено – 3,6 %. Как отмечалось, предыдущая конференция продемонстрировала интенсивное развитие исследований в области микроэлектроники. На V-ой конференции это направление также было отмечено серией работ, главным образом в области получения и анализа летучих веществ. Более того, они заняли доминирующие позиции. Увеличение доли докладов по получению высокочистых веществ было связано с расширением их ассортимента и ростом практического использования. Значительную часть составляли доклады по масс-спектрометрическому и газохроматографическому методам, анализу поверхностных загрязнений.

Со времени предыдущей конференции в г. Горьком произошли знаменательные события. В 1974 г. решением Президиума АН СССР при Отделении физикохимии и технологии неорганических материалов АН СССР создана постоянно действующая Выставка-коллекция веществ особой чистоты на базе Института химии АН СССР в Горьком. В настоящее время она работает при Отделении химии и наук о материалах РАН и является научным подразделением Института химии высокочистых веществ им. Г.Г. Девярых РАН.

Выставка-коллекция – предмет заслуженной гордости РАН, являющаяся уникальным научным проектом по охвату материала и полноте представленных данных по проблемам химии высокочистых веществ. По определению Комитета Выставки-коллекции «ее главная задача – получение объективной картины состояния проблемы получения и анализа высокочистых веществ у нас в стране и за рубежом, информационное обеспечение координационной

деятельности Научного совета РАН по химии высокочистых веществ». Возможности Выставки-коллекции позволят решить фундаментальную проблему химии высокочистых веществ – исследование их примесного состава и достигнутого уровня чистоты. Потенциал Выставки-коллекции используется для изучения и описания высокочистого состояния вещества, выявления закономерностей, связывающих состав и свойства веществ и позволяющих прогнозировать истинные свойства элементов, прототипами которых являются высокочистые простые вещества [53]. Первое сообщение о работе Выставки-коллекции высокочистых веществ и представление первой таблицы степени чистоты простых веществ, полученных в СССР, также состоялись на V-ой конференции. Степень чистоты металлов характеризовалась еще так называемым остаточным электросопротивлением.

Важным событием в истории химии высокочистых веществ стала опубликованная в 1975 г. в промежутке между IV и V конференциями статья академика Г.Г. Девярых «Вещества особой чистоты. Проблемы и перспективы» [41]. В конце ее автор пишет: «Повидимому, настало время и для изменения номенклатуры веществ особой чистоты... пора изменить номенклатуру таким образом, чтобы учитывались как содержание в веществе лимитируемых примесей, так и суммарная степень его чистоты» [41, С. 42]. Посмотрим, как автор пришел к такому выводу. Констатируя установление в химии в начале XIX в. понятия об индивидуальном веществе как химическом соединении постоянного состава, автор подчеркивает определяющую роль степени его чистоты на свойства вещества. Уже к 1940-м гг. были разработаны принципиальные основы всех известных в настоящее время (т.е. к 1975 г.) методов очистки веществ, а также весовой и объемный способы анализа с чувствительностью до 10^{-2} % (весовых) и спектральный анализ с чувствительностью до 10^{-3} % (весовых). Что же это дало в аспекте получения веществ с фиксированным суммарным содержанием примесей? «Это позволило получить ряд веществ с суммарным содержанием примесей на уровне $10^{-1} \dots 10^{-2}$ %

и отдельных примесей на уровне $10^{-3} \dots 10^{-4} \%$ », — пишет Г.Г. Девярых. В 1940-е–1950-е гг. многократно упомянутое бурное развитие атомной энергетики и полупроводниковой техники обнаружило факт большей чувствительности ядерных и электрофизических свойств вещества к его чистоте, чем физико-химические. Главное же — они необычайно сильно зависят от природы примеси. При этом зависимость от одних примесей, названных лимитируемыми, может оказаться неизмеримо большей, чем от других. Именно данное обстоятельство, подчеркивает Г.Г. Девярых, на длительный период определило пути развития химии веществ особой чистоты. Возникла необходимость и появилась возможность получать и анализировать не просто чистые вещества, но вещества, чистые в отношении конкретных примесей. Понятно, что требования к степени чистоты по лимитируемым примесям заметно (на несколько порядков) возросли. Рефлексия очевидна — усовершенствование методов очистки и повышение чувствительности методов анализа. Итог — одноступенчатые способы очистки были в основном заменены многоступенчатыми, чувствительность определения отдельных примесей поднялась до $10^{-5} \dots 10^{-6} \%$, а в некоторых случаях до $10^{-7} \dots 10^{-8} \%$. Было налажено производство многих веществ с общим содержанием примесей $10^{-2} \dots 10^{-3} \%$ и лимитируемых примесей $10^{-6} \dots 10^{-7} \%$. Уменьшение содержания примесей до этого уровня нередко сопровождалось резким изменением ядерных и электрофизических свойств. Такие вещества и получили название «особо чистых». Вещества в особо чистом состоянии, отмечает Г.Г. Девярых, используются для создания принципиально новых приборов или технологических процессов, т.е. только обладая достаточной степенью чистоты по лимитируемым примесям, такие вещества годны для этих целей. Но есть и прагматическая сторона уникальности особо чистых веществ. Меньшую доступность и более высокую стоимость веществ нужно рассматривать как проблему материаловедения «от прогресса которого зависит само существование и развитие отрасли — потребителя» [41, С. 38]. Говоря о запросах, например, радиоэлектронной промышленности,

автор подчеркивает, что научно обоснованные требования к чистоте используемых материалов неизбежно должны восприниматься как совокупность двух функций — относительно известной функции концентрации лимитируемых примесей и неизвестной функции концентрации не лимитируемых примесей. Он указывает допустимый уровень концентрации лимитируемых примесей (на 1975 г.) $10^{-6} \dots 10^{-8} \%$. Говорит Г.Г. Девярых и о другой ипостаси веществ особой чистоты — о том, что они «имеют непреходящее самостоятельное значение в сугубо научном плане» [Там же]. Речь об открытии новых свойств и новых явлений, связанных с повышением степени чистоты и отражающих новый уровень знаний о веществе как форме существования материи. В этой связи он апеллирует к понятию «абсолютно чистого вещества» как субстанции, состоящей из атомов одного сорта. В самом деле: содержание примесных атомов всего на 5–6 порядков меньше числа частиц основного вещества. И хотя автор не продолжает цепь своих рассуждений, можно же вспомнить и об изотопах — (об атомах с разными массами ядер — «классическая изотопия» и атомах с разными магнитными моментами ядер — «новая изотопия»). А вот и иные выводы: «развитие многих разделов современной физики непосредственным образом определяется успехами в получении веществ особой чистоты»; «вещество особой чистоты можно рассматривать как вещество в экстремальных условиях, ибо состав — такой же фундаментальный параметр состояния вещества, как температура и давление» [Там же]. Разумеется, автор идет дальше, говоря про «оптимизм в отношении обнаружения новых свойств при повышении степени чистоты вещества» [Там же]. Примечательно, что автор дает оценку всего фронта исследований в области особо чистых веществ, соотнося их с потребностями страны. Последние, пишет автор, удовлетворяются как промышленными предприятиями, так и лабораториями научно-исследовательских институтов. При этом, отмечает Г.Г. Девярых, большинство производимых промышленностью особо чистых веществ соответствует своему названию. Содержание в них лимитируемых примесей

$10^{-5} \dots 10^{-7} \%$, в то время как суммарная чистота редко бывает ниже $10^{-3} \%$. Но из всех промышленно выпускаемых веществ полупроводниковые кремний и германий имеют сумму примесей, близкую к $10^{-4} \%$. Десятки граммов в год веществ особой чистоты, т.е. наибольшее их количество, выпускают исследовательские институты АН СССР, Министерства высшего и среднего специального образования СССР и отраслевых министерств на основе разрабатываемых в данных учреждениях методов глубокой очистки того или иного конкретного вещества. Роль исследовательских институтов – приоритетная, поскольку именно там получают вещества рекордной очистки и по отдельным примесям ($10^{-6} \dots 10^{-8} \%$), и по их сумме ($10^{-4} \%$). Но, подчеркивает автор, они производятся только для научных целей и эпизодически.

Автор отмечает, что «существует определенный разрыв между производством веществ особой чистоты, и спросом на них, а также предъявляемым к ним требованиям» [41, С. 39]. Причину он видит в отсутствии долгосрочной скоординированной программы научных исследований по получению особо чистых веществ и их выпуска. Констатирует Г.Г. Девярых и «известное несоответствие между теоретическим и практическим развитием методов глубокой очистки и требованиями к чистоте вещества, которых можно ожидать в недалеком будущем» [Там же]. В данный момент времени, т.е. в 1975 г., автор говорит о ближайших десятилетиях, когда, как он полагает, потребуются вещества с содержанием лимитируемых примесей $10^{-10} \dots 10^{-12} \%$, а суммарных $10^{-7} \dots 10^{-9} \%$. Увы, замечает Г.Г. Девярых, потребители, с решимостью финансирующие работы по очистке конкретных веществ, не проявляют большой готовности содействовать развитию поисковых и теоретических исследований, что немедленно отразилось на публикациях основополагающего характера. И вот результат: в период 1963–1972 гг. количество и ассортимент веществ особой чистоты увеличились, а чистота по сумме примесей не изменилась даже на порядок.

Касаясь методов получения веществ особой чистоты, автор подразделяет их на три группы: глубокая очистка; выделение особо чистого

вещества из другого, более сложного вещества особой чистоты; синтез сложного вещества особой чистоты из простых особо чистых веществ. Первая – атрибут всех методов получения веществ особой чистоты, реализуется с помощью химических и физико-химических методов, тогда как физические методы, используемые, например, в сепарации изотопов, здесь (пока) не востребованы. Химические способы очистки основаны на различии в константах равновесия или константах скорости реакции основного вещества и примеси. Хотя в случае резкого различия свойств очищаемого вещества и примеси степень очистки химическими методами может быть чрезвычайно высокой, они применяются только на отдельных стадиях глубокой очистки. При близости свойств названных реагентов использование химических способов нецелесообразно из-за отсутствия рациональных схем в реализации данных методов в многоступенчатом варианте. Самостоятельным способом очистки служат химические транспортные реакции, происходящие в замкнутом объеме с малым количеством реагента. Преимущественно распространенные физико-химические методы – дистилляция и кристаллизация (еще раз вспомним доклад историка физической химии Р. Долби в 1971 г. на XII Международном конгрессе по истории науки в Париже). Наиболее действенный дистилляционный метод глубокой очистки – ректификация, отмечает автор. Термораспад и восстановление водородом из особо чистых сложных веществ осуществляется для получения тугоплавких и имеющих высокую температуру кипения элементов. Как пишет Г.Г. Девярых, из летучих гидридов можно получать в особо чистом состоянии 11 элементов, из галидов – 27, из летучих металлоорганических соединений – около 50. В разобранной части статьи Г.Г. Девярых дан анализ событий в истории химии высокочистых веществ, свершившихся к 1975 г. Свои размышления о дальнейшей судьбе теоретических и экспериментальных исследований он помещает во второй части, которая композиционно выделена фразой: «Каковы же основные пути дальнейшего совершенствования методов получения веществ особой чистоты?»

[41, С. 40]. Здесь много конкретики и суждений обобщающего и прогностического характера. Например, автор полагает, что применение ЭВМ и успехи термодинамики разбавленных растворов решат проблему перехода от экспериментального определения коэффициента распределения примеси между жидкостью и паром к его вычислению. Он также считает, что именно на научной основе будут выбираться конструкционные материалы для изготовления аппаратуры и сам режим очистки для предотвращения загрязняющего действия этих материалов, что нередко имеет место. Вновь повторены слова о преимущественном развитии противоточных многоступенчатых методов (колонная кристаллизация из расплава и из раствора) и о целесообразности бесконтейнерного варианта зонной плавки с использованием сверхглубокого вакуума ($10^{-11} \dots 10^{-12}$ торр.). Автор говорит о правомерности ожидания, что кроме кремния, германия и бора методом выделения особо чистых металлов из их летучих соединений будут получены многие вещества. Указывает автор и на важность хранения веществ особой чистоты.

Г.Г. Девярых отмечает возрастание трудности получения веществ особой чистоты с глубиной очистки и делает вывод о необходимости комплексного подхода. Иначе говоря, лаборатория, исследующая данную проблему, должна разрабатывать теоретические вопросы глубокой очистки, иметь мощную аналитическую группу, поскольку без анализа самого высокого уровня нельзя совершенствовать способ глубокой очистки вещества. Кроме того, в составе лаборатории должна находиться специальная группа для измерения ряда физических параметров полученных веществ, так как результаты химического анализа иногда не позволяют сделать заключение о пригодности вещества особой чистоты для некоторых физических исследований. Отсюда – вывод о необходимости проведения будущих исследований в крупных специализированных учреждениях. Но для этого нужно определить круг таких учреждений, которые предстоит специализировать в области получения веществ особой чистоты и укрепить их материально-техническую базу.

Главная проблема промышленного выпуска веществ особой чистоты – низкий уровень специализации соответствующих предприятий. Следствие – медленное внедрение в производство научно-исследовательских разработок по получению веществ особой чистоты. К 1975 г. созданы методики глубокой очистки около 500 веществ. И если бы они были реализованы на промышленных и полупромышленных установках, то «практически полностью обеспечила бы сегодняшние запросы производств, потребляющих вещества особой чистоты» [Там же, С. 42]. Автор приводит убедительные аргументы в пользу создания опытно-экспериментальных заводов. Но, продолжает Г.Г. Девярых, оно должно обязательно сопровождаться проведением мероприятий общего характера. И, прежде всего, организацией при Отделении физико-химии и технологии неорганических материалов Академии наук постоянно действующей выставки-коллекции рекордно чистых элементов и их летучих соединений, полученных в нашей стране. Понятно, что она нужна, прежде всего, для контроля за состоянием дел в данной области в стране. И на этом «государственный ум» ученого не останавливается – он ратует за организацию на ВДНХ СССР постоянно действующего раздела «Вещества особой чистоты в науке и технике». А закачивает статью академически – предложением изменить существующую номенклатуру таким образом, чтобы «учитывалось как содержание в веществе лимитируемых примесей, так и суммарная степень его чистоты» [Там же, С. 42].

Вернемся к хронологии Всесоюзных конференций. VI-ая состоялась в мае–июне 1981 г. По сравнению с V-ой число докладов уменьшилось на 50. Причина ясна: летом в Баку проходил очередной Менделеевский съезд, на котором впервые была поставлена проблема высокочистых веществ. Часть докладов по химии высокочистых веществ обсуждалась там в работе специальной секции. Распределение материала докладов на VI Всесоюзной конференции было таково: по получению – 21,3 %; по анализу – 28,7 %; по материалам – 10,9 %; по теории – 14,3 %; по оборудованию и технике – 22,7 %. Почти вся таблица Менделеева была

представлена в форме образцов на Выставке-коллекции. В докладе о ее работе продемонстрированы функции распределения примесей по концентрации в простых веществах, из чего следовала нецелесообразность деления веществ по степени чистоты на классы А, В и С. Снова было показано, что остаточное электросопротивление не позволяет однозначно судить о степени чистоты металла.

Кстати, вопрос о рациональной классификации освещался Г.Г. Девярых и В.М. Степановым тремя годами ранее [53]. Новой воспринимается мысль авторов положить в основу классификации «только последовательно выраженную потребность в той или иной чистоте вещества, а не возможности их получения и анализа» [53, С. 3]. Авторы называют «примесно чувствительными» свойства, отражающие изменение концентрации. Важно, что такими свойствами могут быть не только непосредственно измеряемые, но и вычисляемые из измерений. Авторы дают также математические определения понятий «эталонного вещества», «чистого вещества», «особо чистого вещества», «абсолютно чистого вещества» и «сверхчистого вещества». Закljučают статью слова о том, что и с теоретической точки зрения, и с экспериментальной «в основу классификации веществ по степени чистоты удобно положить зависимость различных свойств вещества от состава». За год до начала VI-й конференции появилась важная теоретическая статья Г.Г. Девярых, В.М. Степанова, М.Ф. Чурбанова и др. [54], в которой предполагалось и рассматривалось существование статистических закономерностей в распределении примесей в высокочистых веществах. Предположение было основано на том, что концентрация каждой примеси в чистом веществе зависит от одновременного или последовательного воздействия комплекса фактов. А именно: от исходного содержания примесей, их химической и агрегатной формы, числа, последовательности и эффективности процессов глубокой очистки и вспомогательных операций, конструкционных материалов аппаратуры, адсорбционных-десорбционных процессов и т.д. По статистическим данным о распределении примесей можно, как пишут

авторы, судить о некоторых особенностях процесса получения чистых веществ. Так, «сдвиг среднего значения ($\ln x$) является обобщенной характеристикой процесса очистки, причем величина дисперсии отражает его селективность» [54, С. 674].

В мае–июне 1985 г. прошла VII Всесоюзная конференция по химии высокочистых веществ. Представленные 297 докладов распределены по тематике следующим образом: по получению – 36,3 %; по анализу – 28 %; по материалам – 15 %; по теории – 11 %, по оборудованию и технике эксперимента – 5,7 %. Отмечено значительное повышение доли летучих соединений вследствие интенсивного развития в 1980-е гг. микроэлектроники и волоконной оптики. Г.Г. Девярых отмечает повышение чувствительности методов анализа и появление докладов по получению и анализу высокочистых тугоплавких металлов. И еще – на основе результатов Выставки-коллекции впервые представлены функции распределения примесей по концентрации в летучих веществах. Отмечено, что как и в простых веществах, распределение подчиняется логарифмическому нормальному закону (отдельно для летучих и нелетучих примесей). По мнению Г.Г. Девярых, это подтверждение вывода – полное проанализирован образцы – надежнее его характеристики.

В 1988 г. состоялась VIII Всесоюзная конференция в Нижнем Новгороде. 629 докладов, зачитанных на конференции, составили следующий тематический перечень: получение – 25,2 %; анализ – 38,8 %; материалы – 17,9 %; теория – 8,1 %; аппаратура и техника эксперимента 9,5 %. В докладе о работе Выставки-коллекции сообщалось о создании банка данных по высокочистым веществам, в который вошли результаты анализа выставочных образцов и данные из каталогов иностранных фирм. Было проведено сопоставление уровня чистоты выставочных и отечественных промышленных образцов с данными иностранных фирм. Отмечено, что выставочные образцы проанализированы полнее и степень чистоты их в целом выше, чем у аналогов, произведенных западными фирмами. Следует дежурная концовка: «Как обычно, уровень науки в стране был

высокий, промышленное производство отставало» [49, С. 7].

Важно отметить, что в годы, предшествующие Восьмой конференции, и в 1988 г. были опубликованы статьи о становлении новой дисциплины – химии высокочистых веществ [15...17]. Выше говорилось об авторстве этого термина и о содержании данных статей. В 1989 г. на семинаре по проблеме «Химия ВЧВ» Г.Г. Девятых отметил: «Развивается новая область науки – химия высокочистых стекол» [50]. Значительный вклад в прогресс этого раздела науки внес ученик Г.Г. Девятых акад. М.Ф. Чурбанов, создатель собственного научного направления – исследования высокочистых неоксидных стекол и волоконных световодов на их основе для среднего ИК-диапазона. Ему удалось не только разработать, но и реализовать технологию многомодовых и одномодовых волоконных световодов из высокочистых халькогенидных стекол с минимальными оптическими потерями 20...100 дБ/км в среднем инфракрасном диапазоне. Им (с сотрудниками) получены халькогены; их гидриды; мышьяк; фториды циркония, гафния, алюминия; фторидные, халькогенидные и теллуридные стекла с рекордно низким содержанием примесей. И при этом выявлены закономерности процессов их получения в высокочистом состоянии.

Мы неоднократно называли эту фамилию по ходу изложения очерка. Как и исследовательская, и руководящая деятельность его учителя, обе ипостаси научной жизни академика М.Ф. Чурбанова, разумеется, предполагают содержательный анализ и адекватное освещение. Поэтому здесь, как и в предыдущем случае, мы отметим лишь некоторые «научно-карьерные факты». По окончании химфака ГГУ (1963), после защиты кандидатской (1969) и докторской (1981) диссертаций он становится профессором (1993), членом-корреспондентом (1994) и академиком (2008) РАН, являясь с 1998 г. по с.г. директором ИХВВ им. Г.Г. Девятых РАН. В 1998 и 1999 гг. М.Ф. Чурбанов за научные заслуги был награжден соответственно Государственной Премией Российской Федерации в области науки и техники и медалью Ордена «За заслуги перед Отечеством»

II степени. М.Ф. Чурбанов – председатель Научного Совета РАН по химии высокочистых веществ, член редакционного совета международного журнала «Optoelectronics and advanced materials». Стало модным говорить о соборности, коллегиальности в научной деятельности, но для акад. М.Ф. Чурбанова естественно стремление к совместной работе как с коллегами и по проблемам Выставки-коллекции веществ особой чистоты, в создании которой участвовали более 100 организаций, так и со специалистами из США, Германии, Франции, Китая, Румынии и Болгарии по вопросам химии и технологии высокочистых веществ. И это не мешает ему проводить значительную педагогическую работу, ибо таков стиль ученого.

«IX научная конференция состоялась в 1992 г. после распада СССР», – пишет акад. Г.Г. Девятых. Он говорит о падении числа докладов, но и о том, что «соотношение между направлениями практически не изменилось».

«X – настоящая конференция», – говорит тот же академик, противопоставляя лаконичную характеристику (2 строки) предшествующей конференции необычайно развернутую оценку десятого форума. Но, если на IX конференции было сделано 408 докладов, то на X конференции их зачитано всего 269. При этом особенно заметно сокращение числа докладов по анализу высокочистых веществ. Получение высокочистых веществ составило 24,5 %; а вот доля докладов, посвященных высокочистым материалам, увеличилась до 20 %. Вывод очевиден – желание получить максимальный экономический эффект от научно-исследовательской работы. Разумеется, это связано с сокращением исследований на далекую перспективу. Появился новый раздел, пишет Г.Г. Девятых, имея в виду экологию. Незадолго до X конференции была опубликована монография Г.Г. Девятых и Г.С. Бурханова о высокочистых металлах [44]. Речь в ней шла о методах получения, выращивания монокристаллов, свойствах высокочистых тугоплавких и редких металлов в зависимости от содержания примесей и степени совершенства кристаллической структуры, а также о монокристаллах тугоплавких химических соединений – карбидов, боридов, интерметаллидов. И,

конечно же, о применении высокочистых металлов в науке и технике.

Необходимо сказать несколько слов о соавторе академика Г.Г. Девярых чл.-корр. РАН (2000) Г.С. Бурханове в связи с его исследованиями в данной области и ролью в Научном совете АН СССР/РАН по химии высокочистых веществ. Г.С. Бурханов – видный ученый в области физикохимии и технологии получения высокочистых металлических материалов, профессор, заведующий лабораторией физикохимии тугоплавких и редких металлов и сплавов в своей alma mater – Институте металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова, дважды лауреат Государственной премии СССР, лауреат Государственной премии РФ. Некоторые результаты, полученные Г.С. Бурхановым с сотрудниками. Получение высокочистого монокристалла изотопа ^{186}W для изучения фундаментального слабого электрон-нейтронного взаимодействия, эффект которого в 100 раз превосходит порошковый. Синтезы сложных боридов редкоземельных и платиновых металлов, показавшие принципиальную возможность сосуществования в одном веществе сверхпроводимости и магнетизма, а также случая положительного влияния магнитной подсистемы на повышение термодинамической устойчивости сверхпроводящего состояния. Синтез двойного карбида тантала и гафния с рекордной точкой плавления – около 4500°C и др.

С 2000 г. возобновился цикл Всероссийских конференций по химии высокочистых веществ в Н. Новгороде. С 29 мая по 1 июня с.г. прошла XI конференция, организаторами которой на этот раз стали Отделение физикохимии и технологии неорганических материалов РАН, Научный совет РАН по химии высокочистых веществ, научный совет РАН по аналитической химии, ИХВВ РАН, Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского.

В совместно написанной Г.Г. Девярых и Г.С. Бурхановым книге [44] говорилось об использовании результатов исследования высокочистых металлов и сплавов в науке и промышленности. Большая часть деятельности Г.С. Бурханова в дальнейшем была посвящена этой теме. «Синтез и исследование высокочистых веществ, разработка материалов,

в том числе металлических, на их основе – одно из стратегических направлений современного материаловедения, связанных с развитием приоритетных отраслей техники и фундаментальных исследований в области физики», – считают лауреат Нобелевской премии по физике акад. А.М. Прохоров и чл.-корр. РАН Г.С. Бурханов [57, С. 692]. Принципиально новые сведения о высокочистых тугоплавких металлах и сплавах были представлены ими 25 декабря 2001 г. на заседании Президиума РАН и позднее опубликованы в «Вестнике РАН» [57]. Важно заметить, что при очевидной самостоятельности и оригинальности данных работ, их значимости для мировой науки о высокочистых веществах они являются дальнейшим развитием исследований отечественной школы, основанной акад. Г.Г. Девярых.

В начале статьи [57] Г.С. Бурханов и А.М. Прохоров формулируют положения, отражающие взгляды нижегородской школы акад. Г.Г. Девярых на постоянно ужесточающиеся требования к чистоте веществ. Так, они говорят о снижении допустимого суммарного содержания примесей, увеличении числа контролируемых и лимитируемых примесей, о том, что понятие чистоты стало включать изотопный состав и кристаллические дефекты. Авторы ссылаются на данные Института химии высокочистых веществ им. Г.Г. Девярых РАН, называя рекордсмена по примесной чистоте среди всех химических элементов – германий (суммарное содержание примесей $< 3 \cdot 10^{-7}$ ат. %), и отмечают, что в металлах примесей больше. А именно: в наиболее чистых образцах простых металлов их суммарное содержание – 10^{-5} ат. %. В переходных металлах 5-го и 6-го периодов оно держится на уровне – 10^{-2} ат. %. Как пишут авторы, дальнейшее повышение примесной чистоты металлов зависит от полноты разделения циркония и гафния, ниобия и тантала, молибдена и вольфрама, редкоземельных элементов, а также от более глубокой очистки от газообразующих примесей. Проецируя процесс снижения примесей в металле на способность управления их свойствами, авторы указывают на возможность повышения объективности оценки свойств, более точного определения области

эффективного применения, использования их пластичности и коррозионной стойкости, а также выяснения пределов содержания легирующих элементов. В итоге увеличивается число металлов, могущих стать основой новых сплавов конструкционного и функционального назначения. Простой пример – редкоземельные металлы, как правило, хрупкие и окисляющиеся на воздухе приобретают пластичность и коррозионную стойкость в результате глубокой очистки. А листы высокочистого диспрозия, в течение долгих лет пребывавшие в воздушной атмосфере, не только остались пластичными, но и заметно не корродировали.

Возможности управления свойствами высокочистых редкоземельных металлов можно повысить благодаря их легированию и повышенной способности к управлению при пластической деформации. При этом, продолжают авторы, возможно разрабатывать сплавы с заданными свойствами на основе редкоземельных металлов, в частности, цериевой подгруппы. Сделать так позволяет достаточно высокий уровень технологической пластичности. Авторы подчеркивают, что содержание редкоземельных металлов в земной коре (около 0,01 масс. %) достаточно для использования их в металлургии как основы новых сплавов. Перспективны, по их мнению, сплавы на основе высокочистого ванадия, которые отличаются высокой технологической пластичностью и характеризуются физическими свойствами, важными для ядерной энергетики. Они превосходят по удельной прочности многие сплавы железа, кобальта, никеля, титана и ниобия, если их температура не превышает 1000 °С. Сплавы вольфрама и молибдена с рением являются рекорсменами по прочности среди всех металлических материалов, пишут авторы. При этом они указывают, что рений оказался единственным из легирующих материалов, способным одновременно значительно повышать прочность и пластичность вольфрама и молибдена. Такой эффект связан с его способностью нейтрализовать вредное влияние углерода и кислорода. Механизм действия следующий: при наличии в матрице вольфрама или молибдена избыточной карбидной фазы рений переводит ее в твердый раствор. Он же

образует двойные оксиды $W(Re)O_3$ и $Mo(Re)O_3$ сферической формы, отличной от оксидов WO_3 и MoO_3 , располагающихся в виде пленок по границам зерен этих металлов. С помощью термомеханической обработки удастся изготавливать из этих высокочистых сплавов изделия микронных сечений с пределом прочности до 700 кг/мм².

Авторы сообщают о совместной с Институтом нефтехимического синтеза им. А.В. Топчиева РАН разработке палладиевых сплавов, на основе которых были сделаны фильтрующие элементы мембранного типа, избирательно пропускающие исключительно атомы водорода. С их помощью из сбросовых газов химического и металлургического производств получают водород чистоты 99,999 ат. %. Параллельно фильтрующие элементы выполняют и функцию катализатора процесса гидрирования. Такие катализаторы используются также для производства экологически чистых продуктов питания парфюмерии и лекарственных препаратов.

О кристаллах с монокристаллической структурой. Получены нитевидные металлические монокристаллы («усы») из паровой фазы, содержащие единичные дислокации и имеющие предел прочности на два-три порядка больше, чем у массивных образцов. А, следовательно, речь идет о заметном приближении к теоретическому пределу прочности. В частных случаях специальными технологическими приемами удастся снизить среднюю плотность дислокаций в массивных металлических монокристаллах до 10^3 на 1 см². Нетрудно понять, что это (уровень примесей и дислокаций) обеспечивает массивным металлическим монокристаллам ощутимое превосходство над соответствующими поликристаллами технической чистоты. А именно: первые характеризуются более высокой стабильностью структуры и свойств при таких внешних воздействиях как термоциклирование и облучение, лучшей совместимостью с ядерным горючим, парами и расплавами щелочных металлов, большой эрозионной и коррозионной стойкостью, повышенным сопротивлением высокотемпературной ползучести. Изделиям из высокочистых металлических монокристаллов свойственна

высокая технологическая пластичность и низкое газоотделение. Наконец, применение высокочистых монокристаллов создает дополнительные возможности в управлении свойствами, исходя из их зависимости от кристаллографической ориентации и элементов тонкой структуры.

Пластичность материалов, приготовленных на основе высокочистых монокристаллов вольфрама, молибдена, тантала, сплавов вольфрама и молибдена с рением обеспечивает точность геометрии изготавливаемых из них элементов высоковакуумных приборов, а их высокая формоустойчивость обеспечивает долговечность прибора без изменения выходных параметров. Кроме СВЧ-техники высокочистые монокристаллы тугоплавких металлов и сплавов применяются также в аналитических и контрольно-измерительных приборах. Создан датчик с монокристаллическим эмиттером, определяющий концентрацию аминов в воздухе.

Сообщают авторы и о том, что ими синтезирована группа сверхпроводящих боридов и карборидов, в частности, сверхпроводящие бориды, содержащие ферромагнитный компонент (YNi_2B). Но высокочистые металлические монокристаллы не только могут быть основой функциональных материалов, используемых в экстремальных условиях, они служат важнейшими объектами фундаментальных исследований в ядерной физике и физике твердого тела. Так, монокристаллы вольфрама с диаметром 50 мм были мишенями при изучении когерентного возбуждения ядер ^{19}F периодическим полем кристаллической решетки. Научное и практическое значение приобретают стабильные изотопы ^{186}W и ^{187}Os . В Лаборатории нейтронной физики Объединенного института ядерных исследований слабое электрон-нейтронное взаимодействие изучалось методом дифракции на монокристалле изотопа ^{186}W , что отмечалось нами ранее.

Исследования взаимосвязи свойств и примесного и изотопного состава вещества, а также содержанием кристаллических дефектов необходимы для получения материалов с заданными свойствами. Как пишут авторы, температурно-

и теплопроводность изучались на поли- и монокристаллах карбидов ниобия (NbC) и циркония (ZrC) в температурном интервале 20...2000 °С. Максимальные значения температуро- и теплопроводности наблюдались на монокристаллах NbC и ZrC после двухчасового отжига при температуре 2800 °С. Эти монокристаллы показательны наименьшим содержанием примесей и точечных дефектов. Авторы обращают внимание на высокие электро- и теплопроводность диборидов переходных металлов среди всех химических соединений. Особо подчеркивают, что значения данных параметров соизмеримы и даже в несколько раз превосходят соответствующие показатели металлов, входящих в состав диборидов. Уменьшение суммарного содержания примесей на 1 мас. %, отмечают они, делает удельное сопротивление диборида титана вдвое меньшим при 300 К, а при 14 К сокращает его в 10 раз. 4,94; 5,1 и 4,6 К – температуры перехода высокочистых монокристаллов, соответственно, диборидов титана, циркония и ниобия (TiB_2 , ZrB_2 и NbB_2) в сверхпроводящее состояние. Но у этих же диборидов технической чистоты сверхпроводимость не наблюдается. И как нередко случается, новые открытия принесли новые вопросы, не решенные в рассматриваемый период. Так, на графике зависимости коэффициента линейного расширения от температуры для монокристалла диборида титана обнаружен пик вблизи точки сверхпроводящего перехода. Авторы предполагают, что в дибориде титана технической чистоты фазовый переход подавлялся примесями.

Важен вывод авторов о сопоставимом влиянии кристаллических дефектов и примесей на электро- и теплофизические свойства металлов и соединений с металлическим типом химической связи. И те, и другие вносят индивидуальный вклад в конкретное свойство.

Особый интерес представляет исследование связи свойств с изотопным составом металлов. Церий и торий имеют изотопы только с четными массовыми числами и нулевое значение ядерного магнитного момента. По одному изотопу с нечетным массовым числом и большими значениями ядерных магнитных моментов обладают скандий, празеодим, тербий, гольмий, тулий. Осмыслению этого

факта послужили исследования, проводившиеся в Институте химии высокочистых веществ РАН при изучении температурной зависимости теплоемкости перечисленных высокочистых металлов при температурах 2...20 К. Г.С. Бурханов и А.М. Прохоров отмечают, что высокочистый празеодим с большим ядерным магнитным моментом был использован для синтеза PrNi_5 , послужившим хладагентом для получения сверхнизких температур (до 0,001 К) методом адиабатического размагничивания. Авторы предполагают, что изотопы с большим магнитным моментом ядра под влиянием внешнего магнитного поля способны оказывать воздействие на биохимические процессы в биологических системах.

Авторами рассмотрены конкретные пути повышения эффективности очистки металлов и получения металлических монокристаллов. Максимально перспективными для очистки металлов от примесей, пишут авторы, являются модульные технологии, состоящие из химических, физико-химических и физических методов, каждый из которых наиболее полно удаляет определенную группу примесей. В свою очередь, физико-химические свойства металла и требования к примесному составу определяют выбор метода для комбинированной схемы его очистки. Рафинирование тугоплавких и редких металлов на конечной фазе модульной технологии часто завершается кристаллизацией из расплава или паровой фазы. Для редкоземельных металлов эффективны дистилляция или сублимация, удаляющие большинство тугоплавких и легкоплавких примесей, совершенствование которых позволило снизить содержание каждой из газообразующих примесей до 10^{-3} ат. %, а некоторых до 10^{-6} ат. %. Авторы справедливо отмечают этот успех, поскольку высока химическая активность редкоземельных металлов, особенно к газообразующим примесям. Для более глубокой очистки редкоземельных элементов целесообразно сочетание дистилляции с электронно-лучевым или плазменным нагревами.

Дальнейшим шагом в развитии методов получения монокристаллов тугоплавких металлов авторы считают плазменно-дуговую зонную плавку, разработанную в Институте

металлургии и материаловедения РАН. С помощью этого метода удается получать монокристаллы вольфрама диаметром до 50 мм и массой более 10 кг требуемого профиля (пластины, трубы). «В монокристалле вольфрама по сравнению с исходным металлом содержание углерода, кислорода и кремния снижалось в 1000, 50 и 5 раз соответственно» [57, С. 697]. Авторы пишут о целесообразности последовательного применения плазменно-дугового метода и электронно-лучевой зонной плавки, что усиливает очистку и совершенствует структуру монокристаллов. Говоря о выращивании монокристаллов карбидов и боридов переходных металлов, они указывают на впервые достигнутую рекордную цифру – 20 мм (в диаметре). Успехи в очистке металлов и получении металлических монокристаллов, подчеркивают они, «были бы невозможны без фундаментальных исследований особенностей физико-химического взаимодействия рафинируемых металлов с примесными элементами» [Там же]. Важная роль в иницировании, организации и проведении фундаментальных исследований в области химии высокочистых веществ, в частности, высокочистых металлических монокристаллов принадлежит школе акад. Г.Г. Девярых.

С 31 мая по 3 июня 2004 г. прошла XII Всероссийская конференция по химии ВВ. Это была последняя конференция с участием Г.Г. Девярых. Присутствовали академики Г.Г. Девярых, Е.М. Дианов, Ю.А. Золотов, А.В. Елютин, А.М. Кутепов. Освещались вопросы получения, свойств и применения ВВ и материалов.

В 2007 г. состоялась (28 мая – 31 мая) XIII-я Всероссийская конференция, а 30 мая – 2 июня 2011 г. – XIV-я с общим названием «Всероссийская конференция и VI Школа молодых ученых». Причем возраст последних – до 33 лет. Примечательное знаковое единство. В настоящее время разветвленная система исследований в сфере химии высокочистых веществ базируется на единой концептуальной базе. Ее анализ, взгляд на современное состояние и на актуальность исследований данного направления содержатся в статье директора Института химии высокочистых веществ РАН

акад. М.Ф. Чурбанова. Изначально уточнив термины и понятия «высокоочищенные вещества, ВЧВ», «высокоочищенные материалы» и «область примесной чувствительности, ОПЧ», автор говорит о главной задаче химии высокоочищенных веществ как разделе фундаментального знания. Она заключается, пишет М.Ф. Чурбанов, в установлении истинных свойств индивидуальных веществ. Он называет высокоочищенные вещества не объектами, а предметом химии, видимо, желая подчеркнуть или невольно констатируя, высокий уровень теоретического рассмотрения проблемы. Ну, а как быть с материаловедением на основе высокоочищенных веществ и их технологией, включая технологию материалов, созданных на базе высокоочищенных веществ. М.Ф. Чурбанов рассматривает и материаловедение, и технологию в ранге прикладных дисциплин по отношению к химии высокоочищенных веществ. Развитие науки и потребности практики он определяет как главные движущие силы в получении веществ с низким содержанием примесей. Разумеется, оба этих фактора действовали на всем протяжении осмысленной человеческой истории, доведя содержание примесей от нескольких процентов до 10^{-10} ат. %. Но не маловажен и личностный фактор, подчас определяющий судьбу целого направления. Яркий пример – акад. Г.Г. Девярых, исследования которого, по словам М.Ф. Чурбанова, внесли «значительный вклад» [15, С. 2] в становление фундаментального знания в 1960-х–1980-х гг.

Представление о концептуальной базе химии высокоочищенных веществ возникают из совокупности следующих тезисов. Во-первых, «характер и границы примесного влияния на разные свойства разных веществ неодинаковы» [15, С. 2]. Физико-химические свойства подвержены влиянию примесей до уровня 10^{-3} %; оптические и электрофизические – до $10^{-8} \dots 10^{-9}$ %. По прогнозу сегодняшнего дня максимальная примесная чувствительность равна 10^6 ат/см³, т.е. 10^{-15} ат. % (это фототермоионизационные спектры элементарных полупроводников, см. [58]). Во-вторых, сама чистота вещества может восприниматься как простое или сложное его свойство. Число свойств вещества может увеличиваться с развитием науки и техники, т.е. с возрастанием степени

очистки вещества, которая от них непосредственно зависит. Наглядный пример – создание лазеров, породившее все разновидности лазерной прочности материалов. В-третьих, измеряемое свойство вещества (материала) рассматривается с позиции принципа аддитивности, когда учитываются вклады, определяемые элементарным макросоставом, структурой, типом и содержанием примесей, изотопным составом, дисперсностью, валентным состоянием атомов основы и примесей.

Следующие количественные соотношения характеризуют связь между свойством, вкладами примесей, дефектов структуры и парных взаимодействий примесей и дефектов структуры:

$$P = P_0 + P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + \Sigma P_{ij} \quad (1)$$

$$P \cong P_0 + P_1 \text{ примесей много} \quad (2)$$

$$P \cong P_0 + P_2 \text{ примесей мало} \quad (3)$$

P – измеренное значение свойства; P_0 – значение свойства вещества, свободного от примесей и дефектов структуры; $P_{1,2,3,4,5}$ – вклады примесей, дефектов структуры, дисперсности, примесных изотопов, атомов в ином валентном состоянии; ΣP_{ij} – вклад от парных взаимодействий примесей и дефектов структуры. P_0 – в отдельных случаях оценивается из модельных представлений. Соотношения (2) и (3) – качественные характеристики ситуаций с малым и большим количеством примесей. (ОПЧ) – интервал концентрации с надежно и однозначно определенным вкладом примеси в свойство (см. [59]). По мнению автора, определение P_0 , положения и протяженности области примесной чувствительности на оси концентраций «относится к числу ключевых задач химии высокоочищенных веществ» [15, С. 3]. В материаловедческом аспекте область примесной чувствительности (ОПЧ) служит интервалом управляющего действия примесей на функциональное свойство материала.

О современном состоянии химии высокоочищенных веществ

Обобщенные показатели и наиболее значимые результаты в теоретических, методологических и прикладных разделах

химии ВЧВ, позволяют, как полагает академик М.Ф. Чурбанов, сделать вывод о современном состоянии химии высокочистых веществ. Автор использует понятие «научометрических показателей», признавая тем самым наукометрию как самостоятельную научную дисциплину, что в конце 1960-х гг. пытались доказать В.В. Налимов и З.М. Мульченко [60]. Такими показателями автор считает содержание отдельных и всех примесей в лучших и типичных образцах; полноту и надежность данных о примесном составе, свойствах полученных высокочистых веществ; распределение веществ по степени чистоты. Данная информация наиболее полна и показательна для химических элементов в форме простых веществ. И это понятно. Именно их «как «кирпичики» химического мироздания стремились получить в наиболее чистом состоянии» [15, С. 3]. Как сообщается в работе [61], в наиболее чистых элементах кремнии, германии, галлии, ртути содержание суммы примесей находится на уровне 10^{-6} ат. %, а большинство отдельных примесей – 10^{-7} ... 10^{-8} %. Только около 5 % элементов выборки из 65 элементов имеют содержание суммы примесей на уровне 10^{-6} ат. %. Не более 15 % – на уровне 10^{-4} ат. %; около трети – на уровне 10^{-3} ат. %. Согласно работе [15, С. 4], «не более десятой части элементов обследовано на 90...95 % возможных примесей». Только единичные примеси зафиксированы в наиболее чистых простых веществах, а степень обследованности химических элементов на содержание всех возможных примесей составляет 20...90 %.

Как видно из публикации [62], одним из заметных достижений последнего периода можно считать разработку научных основ, метода и технологии монокристаллического моноизотопного ^{28}Si с высокой степенью изотопной и химической чистоты. В связи с этим успехом акад. М.Ф. Чурбанов пишет: «Впервые в мировой практике получены массивные образцы этого нового вещества с содержанием основного изотопа 99,992 ат. %, примесей кислорода и углерода менее $7 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$, бора и фосфора – $1 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-3}$ ». Последующие исследования обнаружили появление у веществ с высокой изотопной чистотой новых свойств, не

наблюдавшихся у материала с природным изотопным составом [63, 64].

О работах по волоконной оптике в ИХВВ РАН и ИЦВО РАН

Значимым событием первой декады 2000-ых гг. стало создание новых материалов для волоконной и силовой оптики. К ним относятся изготовление на основе модифицированного высокочистого кварцевого стекла волоконных световодов для мощных лазеров, волоконнооптических усилителей [65, 66]. Также были разработаны научные основы и метод получения высокочистых стекол из селено-теллуридов мышьяка и германия с содержанием лимитируемых примесей (кислород, углерод, водород) не превышающих $n \cdot 10^{-5}$ мас. % и оптическим потерями 40...60 дБ/км [67]. Анализ высокочистых веществ обогатился разработкой методики и прибора для масс-спектрометрического определения примесей кислорода, углерода, водорода с пределом обнаружения 10^{-5} ... 10^{-7} мас. % [68].

Ученик академика Г.Г. Девярых М.Ф. Чурбанов создал собственное научное направление – получение и исследование высокочистых неоксидных стекол и волоконных световодов на их основе для среднего ИК-диапазона. У истоков этой ветви исследований ИХВВ им. Г.Г. Девярых РАН находились работы М.Ф. Чурбанова в области химии высокочистых веществ, физикохимии и технологии неорганических материалов.

Под его руководством и при активном личном участии в лаборатории были достигнуты значительные успехи в области глубокой очистки халькогенов и разработки теоретического аспекта данной проблемы. Высокочистые сера, селен, теллур послужили основой для получения халькогенидных стекол с предельно низкими оптическими потерями. М.Ф. Чурбановым с сотрудниками были получены халькогены, их гидриды, мышьяк, фториды циркония, гафния, алюминия, фторидные, халькогенидные и теллуридные стекла с рекордно низким содержанием примесей. Примечательно, что в данных работах были выявлены и сформулированы закономерности получения этих стекол в высокочистом

состоянии. А далее была разработана и, главное, реализована технология многомодовых и одномодовых световодов из высокочистых халькогенидных стекол с минимальными оптическими потерями 20...100 дБ/км в среднем инфракрасном диапазоне (это лучший результат для световодов такого типа). Кстати, реализация световодов в виде опытных партий связана с заказами и отечественных, и зарубежных потребителей. Заметим, что на следующий год после опубликования обобщающей монографии М.Ф. Чурбанова «Высокочистые халькогены» его исследования в 1998 г. были отмечены Государственной премией РФ, а в 1999 г. – медалью Ордена «За заслуги перед Отечеством» II степени. Научные и деловые контакты с учеными из США, Германии, Франции, Китая и других стран несомненно легче развивать на базе более 30 авторских свидетельств и патентов на изобретения, полученных М.Ф. Чурбановым.

Исключительно плодотворным стало сотрудничество лаборатории химии высокочистых бескислородных стекол, возглавляемой академиком (2008) М.Ф. Чурбановым, с Научным центром волоконной оптике при Институте общей физики РАН, руководимым акад. (1994) Е.М. Диановым. Два слова о руководителе.

Академик Евгений Михайлович Дианов родился в селе Красное Тепло-Огаревского района Тульской области 31 января 1936 г. По окончании в 1960 г. физфака МГУ им. М.В. Ломоносова по распределению направлен в знаменитый ФИАН им. П.Н. Лебедева. Там защитил кандидатскую (1966) и докторскую (1977) диссертации. С 1983 г. работает в Институте Общей физики АН СССР/РАН, где в 1987 г. избран чл.-корр. АН СССР, а в 1994 г. – акад. РАН. Тогда же (1994) становится директором Научного центра волоконной оптики при ИОФ РАН. В период 1988–1998 гг. он – зам. директора ИОФ РАН. Е.М. Дианов – ведущий специалист по волоконной оптике в нашей стране и признанный мировой авторитет в данной области.

Изначально его исследования в области передачи информации с помощью лазеров базировались на диэлектрических волноводах, иначе называемых волоконными световодами.

Создателями в 1950-х гг. применяемых в световодах оптических волокон для передачи изображения были Брайен О'Бриен (Американская оптическая компания) и Нариндер Капани (Императорский научно-технический колледж в Лондоне). Первоначально они применялись в медицине для визуального наблюдения внутренних органов. В 1956 г. доктор Капани первым разработал стеклянные волокна в стеклянной оболочке, введя термин «волоконная оптика». Диэлектрический материал световодов обусловил возможность распространения света на большие расстояния ввиду полного внутреннего отражения на границе. Почему важны лазеры? К моменту их создания было известно, что имея несущее излучение и моделируя его сигналом, вы достигаете того, что полоса частот получаемого излучения будет составлять 1 % от несущей частоты. А, следовательно, для передачи большого объема информации необходимо повысить несущую частоту. И еще до создания лазеров радиосвязь развивалась в направлении повышения несущей частоты. А именно: километровые волны (ДВ и СВ), затем метровые (КВ и УКВ) и, наконец, миллиметровый диапазон (СВЧ).

Лазеры важны потому, что частота световых волн на пять порядков (!) превосходит частоту миллиметровых волн. Отсюда их огромное преимущество в передаче информации. Но стеклам как максимально прозрачным средам присущи большие потери – тысячи децибел на километр, т.е. вдвое на 1 метр. Для 30-летнего Е.М. Дианова, как и для других ученых, проблема казалась неразрешимой. Однако в 1966 г. была опубликована статья двух японских ученых, граждан Великобритании Ч.К. Као (Ноб. премия по физике в 2009 г., сотр. STL) и Г.А. Хокхема, в которой было показано, что «корень зла» не в стеклах, а в примесях, препятствующих уменьшению оптических потерь (Вот сколь важна чистота материала!). Изменив технологию, можно сократить потери до 20 децибел на 1000 метров. А значит, свет ослабляется в 2 раза на расстояниях сотен метров. Понятно, что многие фирмы занялись радикальным улучшением технологии стекла и в 1970 г. известная американская фирма Corning glass создала световоды с потерями

20 дБ на 1000 м. И именно данный порядок потерь связисты оценивали как приемлемый для коммерческих применений. Иными словами, это был явный прогресс, стимулирующий дальнейшие исследования. Успехов добились и другие фирмы, например, AT&T Bell labs. Проводились соответствующие исследования и в Государственном оптическом институте (ГОИ), а с 1973 г. в АН СССР.

В военном применении. В 1973 г. военно-морские силы США внедрили волоконно-оптическую линию на борту корабля Little Rock, а в 1976 г. военно-воздушные силы США заменили кабельную оснастку самолета А-7 на волоконно-оптическую.

В итоге в 1977 г. были достигнуты предельные в рамках применявшейся технологии потери 0,15 дБ на км. Почему предельные? Потому, что данная величина обусловлена фундаментальными механизмами оптических потерь в стеклах. Они являются атрибутом свойств материала. А именно: суммарное поглощение включает электронное ультрафиолетовое поглощение, инфракрасное поглощение вследствие колебаний атомов и рэлеевское рассеяние на неоднородностях меньше волны излучения. Как раз комбинация этих эффектов и дает величину 0,15 дБ в районе длины волны 1,5 микрон. Причем при перемещении в более длинноволновую область ультрафиолетовое поглощение уменьшается, тогда как инфракрасное растет, и около 1,5 мк находится минимум их суммы для кварцевого стекла.

Поскольку в видимой и инфракрасной области прозрачны и многие полимеры, то волоконные световоды на их основе также подвергались испытаниям, чему способствовали меньшие температуры их изготовления, относительная дешевизна и легкость управления. Однако значительная величина потерь по сравнению с кварцевыми световодами стала препятствием к их использованию. Но в начале 1990-х гг. японские ученые получили полимерные материалы и волокна на их основе с очень низкими потерями – ниже 10 дБ/км. Дело в том, что им удалось сдвинуть полосы поглощения, обусловленные колебаниями C–H, т.е. основу связей углерод-водород в полимере.

Что сделали японцы? Поглощение сдвинулось в инфракрасную область в результате замены водорода фтором, что увеличило эффективную массу колебательной системы. В итоге получилось поглощение до длин волн 1,3 мк. «Это очень большой успех», – замечает акад. Е.М. Дианов, разбирая описанную работу и все же отмечая отсутствие длительных исследований по долговечности. Он рассматривал данную работу в конце 1990-х гг., когда реальные расстояния передачи информации многомодовыми волокнами из-за большой дисперсии не превышали 100 м. Тогда же академик подробно рассказал о поликристаллических волокнах, главное достоинство которых в передаче мощного лазерного излучения в инфракрасном диапазоне 5...10 мк. А такой диапазон весьма важен в промышленности и медицине, так как именно в нем излучают очень мощные CO₂-лазеры.

О тенденциях развития химии высокочистых веществ

При анализе современного состояния науки естественно встает вопрос о тенденциях дальнейшего развития или об актуальных направлениях исследований химии высокочистых веществ. Нередко своими мыслями на этот счет делятся методологи и философы науки. Мы, однако, солидарны с Д.И. Менделеевым в том, что именно химики должны решать философские вопросы в химической сфере. Тем более что многие современные химики и у нас, и за рубежом вообще отрицают философию как науку, признавая за ней обширную и очень важную сферу интеллектуальной деятельности. Поэтому нам особенно интересны взгляды крупнейшего ученого в области химии высокочистых веществ акад. М.Ф. Чурбанова на актуальные проблемы этой дисциплины.

Основной тезис ученого – «общую цель химии высокочистых веществ можно считать если не «вечной», то близкой к этому» [15, С. 4]. Объясняется он просто: миллион существующих индивидуальных неорганических веществ при степени чистоты каждого из них далекой от предельно возможной предполагает существование практически бесконечного пространства в координатах времени

и процесса последовательного приближения к абсолютной чистоте всех объектов.

Основные направления разработок:

«Получение индивидуальных веществ, в том числе моноизотопных, с более низким суммарным содержанием примесей.

Характеризация полученных образцов высокочистых веществ по содержанию примесей и совершенству структуры.

Надежное и высокоточное измерение свойств новых высокочистых веществ с выявлением характера и границ влияния примесей. Анализ и систематизация полученных данных.

Создание новых функциональных материалов на основе веществ, полученных в более чистом состоянии, чем ранее» [15, С. 4–5].

А вот как сформулированы частные задачи при изучении свойств высокочистых веществ.

«Полное исследование свойств веществ с рекордной степенью чистоты, в том числе прецизионными методами.

Измерение свойств веществ с точно охарактеризованным составом примесей.

Установление механизма и границ влияния примесей на свойства веществ.

Оценка свойств веществ на основе модельных представлений и численного эксперимента.

Сопоставление вкладов примесного и размерного факторов в свойства веществ» [15, С. 6].

Поверхностный ретроспективный взгляд на получение индивидуальных веществ с максимально низким суммарным содержанием примесей показывает, что данный процесс является по существу предметом междисциплинарных исследований. Так, именно фундаментальная физика устанавливает предел современных возможностей по определению содержания отдельных примесей и их суммы, соответственно, порядка 10^{-10} ... 10^{-12} и 10^{-6} ат. %. В свою очередь, за анализ структурных дефектов и их типизацию ответственна кристаллохимия, теоретической базой глубокой очистки служит физическая химия, а комплекс проблем, связанных с получением высокочистых металлов и сплавов, решает металловедение. Понимая это, основоположник химии высокочистых веществ и основатель одноименного исследовательского

института Г.Г. Девярых с самого начала стремился к объединению всех научных групп в РФ, работающих по данной проблематике. Да и сама структура возглавляемого им Института химии высокочистых веществ РАН и создание Г.Г. Девярых научной школы позволили решать многообразные и многочисленные вопросы получения веществ особой чистоты. Современное мировое признание результатов работы нижегородской научной школы и Института химии высокочистых веществ им. Г.Г. Девярых РАН, естественно, ко многому обязывает. Но есть одна особенность исследований в сфере получения абсолютно чистого вещества, точнее говоря, приближения к этому состоянию. Даже при наличии идеальной теоретической платформы и значительного практического опыта невозможно продвинуться на один порядок в уменьшении суммарных примесей без значительных капитальных затрат. Времена, когда наш знаменитый А.Н. Бах мог совершать биохимические открытия почти с помощью одних пробирок давно прошли. Поэтому хотелось бы надеяться, что в самое ближайшее время в государственном бюджете будет фигурировать соответствующая статья. Иначе – отставание неминуемо и престижное научное лидерство будет утрачено.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зоркий П.М. Критический взгляд на основные понятия химии // *Российский химический журнал*. 1996. Т. 40. № 3. С. 6.
2. Бучаченко А.Л. Химия на рубеже веков: Свершения и прогнозы // *Успехи химии*. 1999. Т. 68. С. 99.
3. Курнаков Н.С. *Соединение и химический индивид* / Избр. труды. М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1960. Т. 1. С. 13.
4. Курнаков Н.С. Соединение и химический индивид // *Изв. АН*. 1914. Т. 8. № 5. С. 321.
5. Jean Timmermans. *La notion despece en chimie*. Paris: Gauthier Villars et Cie, 1928. 134 p.; русский перевод с французского под ред. В.В. Логинова: Тиммерманс Ж. *Понятие об индивидуальности химического вещества*. Л.: Научное химикотехническое издательство. Всехимпром ВСНХ СССР, 1930. 152 с.
6. Каржина Г.А. Химия ВЧВ как научная дисциплина нового типа // *Высокочистые вещества*. 1988. № 5. С. 211...214.

7. Ормонт Б.Ф. Современное учение о химическом индивиде и некоторые основные законы химии // *Журнал неорганической химии*. 1956. Т. 1. С. 457.
8. Макаров Е.С. К вопросу об определении понятия химического соединения // *Там же*. С. 1583.
9. Бокий Г.Б. К теории дальтонилов и бертоллидов // *Там же*. С. 1599.
10. Бокий Г.Б. Развитие идей Н.С. Курнакова в современной кристаллохимии // *Там же*. 1963. Т. 8. С. 10, 33.
11. Оствальд В. *Эволюция основных проблем химии* / Пер. под ред. Е.И. Шпитальского. М., 1909. 232 с.
12. Бергаланфи Л. *Общая теория систем*. 1968.
13. Шептунова З.И. *Химическое соединение и химический индивид (очерк развития представлений)*. М.: Наука, 1972. 214 с.
14. *Химический энциклопедический словарь*. М.: Советская энциклопедия, 1983. 791 с.
15. Чурбанов М.Ф. *Актуальные задачи химии высокочистых веществ*.
16. Фиалков Ю.Я. *Девятый знак*. М.: ГИДЛ, 1963. 143 с.
17. Menshutkin B.N. *Chemist, courtier, physicist, poet Russias Lomonosow*. Prinseton: Prinseton univ. press, 1952. VIII + 208 p.
18. Partington J.R. Scientific achievements of M.V. Lomonosov // *Nature*. 1953. Vol. 171. N. 4343. Pp. 138...139.
19. Смолеговский А.М., Соловьев Ю.И. *Борис Николаевич Меншуткин. Химик и историк науки*. М.: Наука, 1983. 230 с.
20. Berthelot M. *Les origins de alchimie*. Paris, 1885.
21. Berthelot M., Ruele Ch. *Collection des anciens alchemis Gress*. Т. 1-3. Paris, 1887-1888.
22. Рабинович В.Л. *Алхимия как феномен средневековой культуры*. М.: Наука, 1979. 384 с.
23. Морозов Н.А. *В поисках философского камня*. С-Пб.: Тип. Т-во «Общественная польза», 1909. 300 с.
24. Меншуткин Б.Н. *Химия и пути ее развития*. М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1937. 350 с.
25. Фигуровский Н.А. *Очерк общей истории химии. От древнейших времен до начала XIX в.* М.: Наука, 1969. 455 с.
26. Штрубе В. Пути развития химии. Т. 1. *От первобытных времен до промышленной революции* / Пер. с немецкого; под ред. д.х.н. Д.Н. Трифонова. М.: Мир, 1984. 239 с.
27. Звягинцев О.Е., Соловьев Ю.И., Старосельский П.И. *Лев Александрович Чугаев*. М.: Наука, 1965. 199 с.
28. Рябенко Е.А. 70 лет Всесоюзному научно-исследовательскому институту химических реактивов и особо чистых химических веществ // *Высокочистые вещества*. 1987. № 4. С. 5...9.
29. Степин Б.Д. О термодинамической классификации чистых веществ / В сборнике: *Методы получения и анализа веществ особой чистоты*. М.: Наука, 1970. С. 17...20.
30. Александров Ю.И. *Точная криометрия органических веществ*. Л.: Химия, 1975. С. 5.
31. Степин Б.Д., Горштейн И.Г. и др. *Методы получения особо чистых неорганических веществ*. Л.: Химия, 1969. 480 с.
32. Девятых Г.Г. Современное состояние методов получения веществ особой чистоты / В книге: *Методы получения и анализа веществ особой чистоты* (Труды Всесоюзной конференции, Горький, 1968). М.: Наука, 1970. С. 5-16.
33. *Школы в науке. Науковедение: проблемы и исследования (АН СССР и АН ГДР)*. М.: Наука, 1977. 523 с.
34. Гузевич Д.Ю. Научная школа как форма деятельности // *ВИЕТ*. 2003. № 1. С. 64...93.
35. Девятых Г.Г., Чурбанов М.Ф. Развитие понятия «высокочистое вещество» // *Высокочистые вещества*. 1987. № 2. С. 5...11.
36. Селимханов И.Р., Иванов В.В. *Металлы и сплавы Древности* / В книге: *Всеобщая история химии. Возникновение и развитие химии с древнейших времен до XVII века*. М.: Наука, 1980. С. 35...73.
37. Кузнецов В.И. *Общая химия. Тенденции развития*. М.: Высшая школа, 1989. 288 с.
38. Смолеговский А.М. У.Л. *Брэгг и его роль в создании структурной кристаллохимии*. М.: НП «Базальтовые технологии», 2009. 200 с.
39. Бернал Дж.Д. Значение анализа кристаллов в современной науке // *Успехи физических наук*. 1950. Т. 19. Вып. 4. С. 401...418.
40. Девятых Г.Г., Яньков С.В. О развитии химии высокочистых веществ // *Высокочистые вещества*. 1993. № 1. С. 19...26.
41. Девятых Г.Г. Вещества особой чистоты. Проблемы и перспективы // *Вестник АН СССР*. 1975. № 6. С. 37...42.
42. Девятых Г.Г., Чурбанов М.Ф. *Методы получения веществ особой чистоты*. М.: Знание, 1976. Вып. 1. 63 с.
43. Anthony T.R., Banholzer W.F., Fleischer J.R. et.al. // *Phys. Rev*. 1990. Vol. B 42. № 2. P. 1104.
44. Девятых Г.Г., Бурханов Г.С. *Высокочистые тугоплавкие и редкие металлы*. М.: Наука, 1993. 223 с.
45. Пфанн В.Дж. Зонная плавка. (Пер. с англ.). М., 1960 [оригинал – Pfann W.G. // *Trans. AIME*. 1952. Vol. 194. P. 747].
46. *Методы получения и анализа веществ особой чистоты*. М.: Наука, 1970. 210 с.
47. Девятых Г.Г., Степанов В.М. К вопросу о рациональной классификации веществ по степени чистоты // *Получение и анализ чистых веществ*. 1978. № 3. С. 3...7.
48. Девятых Г.Г., Чурбанов М.Ф. Химия высокочистых веществ как научная дисциплина в системе современного химического знания // *Высокочистые вещества*. 1990. № 3. С. 211...229.

49. Девярых Г.Г. Развитие химии высокочистых веществ в нашей стране в 1960–1995 гг. (По материалам нижегородских конференций) // Там же. 1995. № 6. С. 5ююю8.
50. Девярых Г.Г. Семинар по проблеме «Химия ВЧВ» // *Высокочистые вещества*. 1989. № 3. С. 223–224; № 4, С. 253...256; № 5. С. 238.
51. Ван Аркель, Де Бур Дж. *Методы получения металлов*. М.: Издательство иностранной литературы, 1957. С. 30.
52. Шефер Г. *Химические транспортные реакции*. М.: Мир, 1964. 189 с.
53. Вернадский В.И. *О значении трудов М.В. Ломоносова в минералогии и геологии*. М.: Общество любителей естествознания, антропологии и этнографии, 1900.
54. Девярых Г.Г., Степанов В.М., Чурбанов М.Ф. и др. Закономерности распределения примесей по концентрации в высокочистых веществах // *Доклады АН СССР*. 1980. Т. 254. № 3. С. 670...674.
55. Девярых Г.Г., Степанов В.М., Чурбанов М.Ф. и др. Закономерности распределения примесей по концентрации в высокочистых веществах // *Доклады АН СССР*. 1980. Т. 254. № 3. С. 670...674.
56. Девярых Г.Г., Степанов В.М., Каржина Г.А. Понятие абсолютно чистого вещества // *Химия и мировоззрение*. 1986. С. 117...124.
57. Бурханов Г.С., Прохоров А.М. Высокочистые металлы и сплавы // *Вестник РАН*. 2002. Т. 72. № 8. С. 692...697.
58. Андреев Б.А., Лившиц Т.М. Фототермоионизационная спектроскопия примесей в германии и кремнии // *Высокочистые вещества*. 1990. № 5. С. 7...22.
59. Девярых Г.Г., Чурбанов М.Ф. Тенденции в создании материалов на основе высокочистых веществ // *Журнал ВХО им. Д.И.Менделеева*. 1991. № 6. С. 656...664.
60. Налимов В.В., Мульченко З.М. *Наукометрия: Изучения развития науки как информационного процесса*. М.: Наука, 1969.
61. Девярых Г.Г., Карпов Ю.А., Осипова Л.И. *Выставка – коллекция веществ особой чистоты*. М.: Наука, 2003. 236 с.
62. Becker P., Sciehiel D., Pohl H.J. et al. Production of highly enriched Si-28 for the precise determination of the Avogadro constant // *Measurement Science and Technology*. 2006. Vol. 17. Pp. 1854...1860.
63. Gibin A.M., Devyatykh G.G., Gusev A.V. et al. Heatcapacity of isotopically enriched ^{28}Si , ^{29}Si and ^{30}Si in the temperature range $4\text{K} < T < 100\text{K}$ // *Solid state communications*. 2005. Vol. 133. № 9. Pp. 569...572.
64. Yang A., Karaiskaj D., Thewalt M.L.W. et al. Optical detection and ionization of donors in specific electronic and nuclear spin states // *Phys.rev. letters*. 2006. Vol. 97. P. 227401.
65. Melkumov M.A., Kustov E.F., Dianov E.M. et al. Bismuth-doped-glass optical fibers-a new active medium for lasers and amplifiers // *Opt. let.* 2006. Vol. 31. № 20. Pp. 2966...2968.
66. Dianov E.M., Shubin A.V., Melkumov M.A. et al. High-power CW bismuth-fibers lasers // *J.opt. soc. Amer.*, B. 2007. Vol. 24. Pp. 1749...1755.
67. Shiryaev, Adam J.-L., Zhang X.H. et al. Infrared fibers based on Te-As-S glass system with low optical losses // *J. Non-Crist. Solids*. 2004. Vol. 336. Pp. 113...119.
68. Безруков В.В., Ковалев И.Д., Малышев К.Н., Овчинников Д.К. Определение водорода и кислорода в халькогенидных стеклах на тандемном лазерном масс-рефлектроне // *Журнал аналитической химии*. 2002. Т. 57. № 4. С. 378...382.
69. Каржина Г.А. Методологические аспекты развития химических наук // *Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского*. 2007. № 4. С. 210...215.

REFERENCES

- Zorkiy P.M. Kriticheskiy vzglyad na osnovnyye ponyatiya khimii [A critical look at the basic concepts of chemistry]. *Rossiyskiy khimicheskiy zhurnal* [Russian chemical journal]. 1996. Vol. 40. № 3. P. 6.
- Buchachenko A.L. Khimiya na rubezhe vekov: Sversheniya i prognozy [Chemistry at the turn of the century: Achievements and forecasts]. *Uspexi khimii* [Russian Chemical Reviews]. 1999. Vol. 68. P. 99.
- Kurnakov N.S. *Soedinenie i khimicheskiy individ. Izbrannye Trudy* [Connection and chemical individual. Selected works]. М.-Л.: Izdatel'stvo AN SSSR [Moscow-Leningrad: Publishing house of the Academy of Science of the USSR]. 1960. Vol. 1. P. 13.
- Kurnakov N.S. *Soedinenie i khimicheskiy individ* [Connection and chemical individual]. *Izvestiya Akademii nauk* [Proceedings of the Academy of Sciences]. 1914. Vol. 8. № 5. P. 321.
- Jean Timmermans. *La notion despece en chimie*. Paris: Gauthier – Villars et Cie. 1928.134 p.
- Karzhina G.A. Khimiya VChV kak nauchnaya distsiplina novogo tipa [HPS chemistry as a scientific discipline of a new type]. *Vysokochistye veshchestva* [High-Purity substance]. 1988. № 5. Pp. 211...214.
- Ormont B.F. Sovremennoe uchenie o khimicheskom individe I nekotorye osnovnye zakony khimii [The modern doctrine of the individual chemical and some basic laws of chemistry]. *Zhurnal neorganicheskoy khimii* [Russian Journal of Inorganic Chemistry]. 1956. Vol. 1. P. 457.
- Makarov E.S. K voprosu ob opredelenii ponyatiya khimicheskogo soedineniya [On the definition of the concept of a chemical compound]. *Ibid.* P. 1583.
- Bokiy G.B. K teorii daltonidov I bertolidov [On the theory daltonides and bertolides]. *Ibid.* P. 1599.

9. Bokiy G.B. Razvitie idey N.S.Kurnakova v sovremennoy kristalloghimii [Development N.S.Kurnakov ideas in the modern crystal chemistry]. *Ibid.* 1963. Vol. 8. Pp. 10, 33.
10. Ostvald V. *Evolutsiya osnovnykh problem khimii* [The evolution of the basic chemistry problems]. Transl. ed. by E.I. Shpitalskogo. Moscow, 1909. 232 p.
11. Bertalanfi L. *Obshchaya teoriya system* [General Systems Theory]. 1968.
12. Sheptunova Z.I. *Khimicheskoe soedinenie b khimicheskoy individ (oчерk razvitiya predstavleniy)* [Chemical compound and chemical individual (essay of development ideas)]. M.: Nauka [Moscow: Publishing house «Science»], 1972. 214 p.
13. *Khimicheskiy entsiklopedicheskiy slovar* [Encyclopedic Dictionary of Chemistry]. M.: Izdatelstvo Sovetskaya entsiklopediya [Moscow: Publishing house «Soviet Encyclopedia»]. 1983. 791 p.
14. Churbanov M.F. *Aktualnye zadachi khimii vysokochistykh veshchestv* [Challenges of high-purity substances chemistry].
15. Fialkov Yu.Ya. *Devyanny znak* [Ninth sign]. M.: GIDL [Moscow: State Publishing House of Children Literature], 1963. 143 p.
16. Menshutkin B.N. *Chemist, courtier, physicist, poet Russias Lomonosov*. Prinseton. Prinseton univ.press, 1952. VIII+208 p.
17. Partington J.R. Scientific achievements of M.V. Lomonosov. *Nature*. 1953. Vol. 171. № 4343. Pp. 138...139.
18. Smolegovskiy, Soloviyev Yu.I. *Boris Nikolaevich Menshutkin. Khimik I istorik nauki* [Boris Menshutkin. Chemist and historian of science]. M.: Nauka [Moscow: Publishing house «Science»], 1983. 230 p.
19. Berthelot M. *Les origins de alchimie*. Paris.1885.
20. Berthelot M., Ruelle Ch. *Collection des anciens alchemis Gress*. T.1-3. Paris. 1887-1888.
21. Rabinovich V.L. *Alkhimiya kak fenomen srednevekovoy kultury* [Alchemy as a phenomenon of medieval culture]. M.: Nauka [Moscow: Publishing house «Science»], 1979. 384 p.
22. Morozov N.A. *V poiskakh filosofskogo kamnya* [In search of the philosopher's stone]. Spb.Tip.T-vo «Obshchestvennaya polza» [Print.Partnership «Public benefit»], 1909. 300 p.
23. Menshutkin B.N. *Khimiya I puti eye razvitiya* [Chemistry and ways of its development]. M.-L.: Izvo AN SSSR [Publishing house of the Academy of Science of the USSR], 1937. 350 p.
24. Figurovskiy N.A. *Oчерk obshchey istorii khimii. Ot drevneyshikh vremen do nachala XIX v.* [Essay on the general history of chemistry from ancient times to the early XIXth century]. M.: Nauka [Moscow: Publishing house «Science»], 1969. 455 p.
25. Shtrube V. *Puti razvitiya khimii. T.1. Ot pervobytnykh vremen do promyshlennoy revolyutsii*. Per. s nemetskogo pod red. d.kh.n. D.N.Trifonova [Ways of development of chemistry. Vol. 1. From prehistoric times to the industrial revolution. Trans. from the German ed. by prof. D.N. Trifonov]. M.: Mir [Moscow: Publishing house «World»], 1984. 239 p.
26. Zvyagintsev O.E., Solovev Yu.I., Staroselskiy P.I. *Lev Aleksandrovich Chugaev* [Lev Chugaev]. M.: Nauka [Moscow: Publiscing house «Science»], 1965. 199 p.
27. Ryabenko E.A. 70 let Vsesoyuznomu nauchno-issledovatel'skomu institutu khimicheskikh reaktivov i osobo chistykh khimicheskikh veshchestv [70 years All-Union Scientific Research Institute of Chemical reagents and high pure chemicals]. *Vysokochistye veshchestva* [High-Purity substances]. 1987. № 4. Pp. 5...9.
28. Stepin B.D. *O termodinamicheskoy klassifikatsii chistykh veshchestv. V sb-ke «Metode polucheniya I analiza veshchestv osoboy chistoty»* [About thermodynamic classification of pure substances. In the book «Methods of preparation and analysis of high purity materials»]. M.: Nauka [Moscow: Publishing house «Science»], 1970. Pp. 17...20.
29. Aleksandrov Yu.I. *Tochnaya kriometriya organicheskikh veshchestv* [Accurate cryometry organic substances]. L. Khimiya [Leningrad: Publishing house «Khimiya»], 1975. P. 5.
30. Stepin B.D., Gorshteyn I.G. et al. *Metody polucheniya osobo chistykh neorganicheskikh veshchestv* [Methods of obtaining especially pure inorganicsubstances]. L. Khimiya [Ibid]. 1969. 480 p.
31. Devyatykh G.G. *Sovremennoe sostoyanie metodov polucheniya veshchestv osoboy chistoty V kn. Metody polucheniya I analiza veshchestv osoboy chistoty (Trudy Vsesoyuznoy konferentsii, Gorkiy, 1968)* [Current status of methods for obtaining high purity vaterials. In the book: «Methods of preparation and analysis of high purity materials» (Proceedings of the All-Union Conference, Gorkiy, 1968)]. M.: Nauka [Moscow: Publishing house «Science»], 1970. Pp. 5...16.
32. *Shkoly v nauke. Naukovedenie: problem I issledovaniya (AN SSSR I AN GDR)* [School of Science. Naukovedenie: Problems and research (USSR Academy of Sciences and the Academy of Sciences of the GDR)]. M.: Nauka [Moscow: Publishing house «Science»], 1977. 523 p.
33. Guzevich D.Yu. Nauchnaya shkola kak forma deyatelnosti [Scientific school as a form of activity]. *VJET* [Questions of history of science and technology]. 2003. № 1. Pp. 64...93.
34. Devyatykh G.G., Churbanov M.F. Razvitie ponyatiya «vysokochistoe veshchestvo» [The development of the concept of «high-purity substances»]. *Vysokochistye veshchestva* [High-purity substances]. 1987. № 2. Pp. 5...11.

35. Selimkhanov I.R., Ivanov V.V. *Metally i splavy Drevnosti. – V kn.: Vseobshchaya istoriya khimii. Vozniknovenie i razvitie khimii s drevneyshikh vremen do XVII veka* [Metals and alloys Antiquities. Proc.: General History of chemistry. The origin and development of chemistry from ancient times to the XVII century]. M.: Nauka [Moscow: Publishing house «Science»], 1980. Pp. 35...73.
36. Kuznetsov V.I. *Obshchaya khimiya. Tendentsii razvitiya* [General chemistry. Development trends]. M.: Vysshaya shkola [Moscow: publishing «High school»], 1989. 288 p.
37. Smolegovskiy A.M. *U.L. Bregg I ego rol v sozdanii strukturalnoy kristalokhimii* [U.L. Bregg and its role in the creation of structural crystal chemistry]. M.: NP «Bazaltovye tekhnologii» [Moscow: publishing house NP «Basalt technology»], 2009. 200 p.
38. Bernal J.D. Znachenie analiza kristallov v sovremennoy nauke [Significance analysis of crystals in modern science]. *Uspekhi fizicheskikh nauk* [Physics-Uspekhi]. 1950. Vol. 19. Issue 4. Pp. 401...418.
39. Devyatykh G.G., Yankov S.V. O razvitiy khimii vysokochistykh veshchestv [On the development of high-purity substances]. *Vysokochistye veshchestva* [High-purity substances]. 1993. № 1. Pp. 19...26.
40. Devyatykh G.G. Veshchestva osoboy chistoty. Problemy i perspektivy [Substances of high purity. Problems and prospects]. *Vestnik AN SSSR* [Bulletin of the Academy of Science of the USSR]. 1975. № 6. Pp. 37...42.
41. Devyatykh G.G., Churbanov M.F. *Metody polucheniya veshchestv osoboy chistoty* [Methods for preparing high purity substances]. M. Znanie [Moscow: Publishing house «Knowledge»], 1976. Issue 1. 63 p.
42. Anthony T.R., Banholzer W.F., Fleischer J.R. et al. *Physical Revies*. 1990. Vol. B 42. № 2. P. 1104.
43. Devyatykh G.G., Burkhanov G.S. *Vysokochistye tugoplavkie i redkie metally* [The highly refractory and rare metals]. M. Nauka [Moscow: Publishing house «Science»], 1993. 223 p.
44. Pfann W.G. *Transaction AIME*. 1952. Vol. 194. P. 747.
45. *Metody polucheniya i analiza veshchestv osoboy chistoty* [Methods of preparation and analysis of high purity materials]. M. Nauka [Moscow: Publishing house «Science»], 1970. 210 p.
46. Devyatykh G.G., Stepanov V.M. K voprosu o ratsionalnoy klassifikatsii veshchestv po stepeni chistoty [On the question of a rational classification according to the degree of purity of substances]. *Poluchenie i analiz chistykh veshchestv* [Preparation and analysis of pure substances]. 1978. № 3. Pp. 3...7.
47. Devyatykh G.G., Churbanov M.F. Khimiya vysokochistykh veshchestv kak nauchnaya distsiplina v sisteme sovremennogo khimicheskogo znaniya [Chemistry of high-purity substances as a scientific discipline in the modern system of chemical knowledge]. *Vysokochistye veshchestva* [High-Purity Substances]. 1990. № 3. Pp. 211...229.
48. Devyatykh G.G. Razvitie khimii vysokochistykh veshchestv v nashey strane v 1960–1995 gg. (Po materialam nizhegorodskikh konferentsiy) [The development of high-purity substances chemistry in our country in 1960–1995 yy. (According to the Nizhny Novgorod conferences)]. *Ibid*. 1995. № 6. Pp. 5...8.
49. Devyatykh G.G. Seminar po problem «Khimiya VChV» [The seminar of the problem of «H-PS chemistry»]. *Vysokochistye veshchestva* [High-Purity Substances]. 1989. № 3. Pp. 223–224; № 4. Pp. 253...256; № 5. P. 238.
50. Van Arkel, De Bur J. *Metody polucheniya metallov* [The Methods of producing metals]. M.: Izd-vo inostr.lit. [Moscow: Publ. house «Foreign Literature»], 1957. P. 30.
51. Shefer G. *Khimicheskie transportnye reaktsii* [The chemical transport reaction]. M.: Mir [Moscow: Publ. house «The World»], 1964. 189 p.
52. Vernadskiy V.I. *O znachenii trudov M.V. Lomonosova v mineralogii i geologii* [The significance of M.Lomonosov works in mineralogy and geology]. M.: Obshchestvo lyubiteley estestvoznaniya, antropologii i etnografii [Moscow: Publ.house «Society of Natural history, Anthropology and Ethnography lovers»], 1900. 34 p.
53. Devyatykh G.G., Stepanov V.M., Churbanov M.F. et al. Zakonomernosti raspredeleniya primesey po kontsentratsii v vysokochistykh veshchestvakh [Regularities of impurities concentration distribution in high-purity substances]. *Doklady AN SSSR* [Reports of the USSR Academy of Science]. 1980. Vol. 254. № 3. Pp. 670...674.
54. Devyatykh G.G., Stepanov V.M., Churbanov M.F. et al. Zakonomernosti raspredeleniya primesey po kontsentratsii v vysokochistykh veshchestvakh [Regularities of impurities concentration distribution in high-purity substances]. *Doklady AN SSSR* [Reports of the USSR Academy of Science]. 1980. Vol. 254. № 3. Pp. 670...674.
55. Devyatykh G.G., Stepanov V.M., Karzhina G.A. Ponyatie absolyutno chistogo veshchestva [The notion of an absolutely pure substance]. *Khimiya i mirovozzrenie* [Chemistry and world view]. 1986. Pp. 117...124.
56. Burkhanov G.S., Prokhorov A.M. Vysokochistye metally i splavy [High-purity metals and alloys]. *Vestnik RAN* [Bulletin of the RAS]. 2002. Vol. 72. № 8. Pp. 692...697.
57. Andreev B.A., Livshits T.M. Fototerminoionizatsionnaya spektroskopiya primesey v germanii i kremnii [Photothermal ionization spectroscopy of impurities in germanium and silicon]. *Vysokochistye veshchestva* [High-purity substances]. 1990. № 5. Pp. 7...22.
58. Devyatykh G.G., Churbanov M.F. Tendentsii v sozdanii materialov na osnove vysokochistykh veshchestv [Trends in creation of materials based on high-purity

- substances]. *Zhurnal VKHO im. D.I. Mendeleeva* [Journal D.I. Mendeleev Union Chemical Society]. 1991. № 6. Pp. 656...664.
59. Nalimov V.V., Mulchenko Z.M. *Naukometriya: Izuchenie razvitiya nauki kak informatsionnogo protsesssa* [Scientometrics: the study of the development of science as an information process]. M.: Nauka [Moscow: Publishing house «Science»], 1969.
 60. Devyatykh G.G., Karpov Yu.A., Osipova L.I. «Vystavka – kolleksiya veshchestv osoboy chistoty» [«The exhibition – a collection of high-purity substances»]. M.: Nauka [Moscow: Publishing house «Science»]. 2003. 236 p.
 61. Becker P., Sciehiel D., Pohl H.J. et al. Production of highly enriched Si-28 for the precise determination of the Avogadro constant. *Measurement Science and Technology*. 2006. Vol. 17. Pp. 1854...1860.
 62. Gibin A.M., Devyatykh G.G., Gusev A.V. et al. Heatcapacity of isotopically enriched ^{28}Si , ^{29}Si and ^{30}Si in the temperature range $4\text{K} < T < 100\text{K}$. *Solid state communications*. 2005. Vol. 133. № 9. Pp. 569...572.
 63. Yang A., Karaiskaj D., Thewalt M.L.W. et al. Optical detection and ionization of donors in specific electronic and nuclear spin states. *Phys.rev. letters*. 2006. Vol. 97. P. 227401.
 64. Melkumov M.A., Kustov E.F., Dianov E.M. et al. Bismuth-doped-glass optical fibers-a new active medium for lasers and amplifiers. *Opt. let.* 2006. Vol. 31. № 20. Pp. 2966...2968.
 65. Dianov E.M., Shubin A.V., Melkumov M.A. et al. High-power CW bismuth-fibers lasers. *J.opt. soc. Amer., B*. 2007. Vol. 24. Pp. 1749...1755.
 66. Shiryaev, Adam J.-L., Zhang X.H. et al. Infrared fibers based on Te-As-S glass system with low optical losses. *J. Non-Crist. Solids*. 2004. Vol. 336. Pp. 113...119.
 67. Bezrukov B.V., Kovalev I.D., Malyshev K.N., Ovchinnikov D.K. Opredelenie vodoroda i kisloroda v khalkogenidnykh steklakh na tandemnom lasernom mass-reflektrone [Determination of hydrogen and oxygen in chalcogenide glasses in the tandem laser mass-reflectron]. *Zhurnal analiticheskoy khimii* [Journal of analytical chemistry]. 2002. Vol. 57. № 4. Pp. 378...382.
 68. Karzhina G.A. Metodologicheskie aspekty razvitiya khimicheskikh nauk [Methodological aspects of chemical sciences]. *Vestnik Nizhegorodskogo universiteta im. N.I. Lobachevskogo* [Bulletin of the N.I. Lobachevsky Nizhny Novgorod University]. 2007. № 4. Pp. 210...215.

Сведения об авторах

Смолеговский Александр Михайлович, доктор хим. наук, главный научный сотрудник,
E-mail: smolegovskiy@mail.ru

Харитоновна Алла Николаевна, научный сотрудник
E-mail: alnickharitonova@gmail.com

ФГБУН «Институт истории естествознания и техники им. С.И. Вавилова
Российской академии наук» (ФГБУН «ИИЕТ РАН»)
109012, Российская Федерация, Москва, Старопанский переулок, 1/5

Information about authors

Smolegovsky Alexandr M., Doctor of Chemical Sciences, Chief Researcher
E-mail: smolegovskiy@mail.ru

Kharitonova Alla Nikolaevna, Researcher
E-mail: alnickharitonova@gmail.com

FSBUS «S.I. Vavilov Institute for the History of Science and Technology Russian Academy of Science»
(FSBUS «IIET RAS»)
1/5, Staropansky Lane, Moscow, 109012, Russian Federation