

Из истории естествознания

И. С. ДМИТРИЕВ

НАУЧНОЕ ОТКРЫТИЕ IN STATU NASCENDI: ПЕРИОДИЧЕСКИЙ ЗАКОН Д. И. МЕНДЕЛЕЕВА

Я не лшущсь порывами дойти до общего.

Д. И. Менделеев

Что есть дорога, то не есть путь.

Даосская мудрость

Введение

Открытие Д. И. Менделеевым в 1869 г. Периодического закона (*ПЗ*) стало не только одним из крупнейших событий в истории химии XIX столетия, но и в известном смысле одним из самых выдающихся достижений человеческой мысли минувшего тысячелетия. И вместе с тем *ПЗ* и Периодическая система (*ПС*) химических элементов все еще остаются для нас загадкой. До сих пор не удается понять глубокие физические причины периодичности, в частности, причины периодической повторяемости сходных электронных конфигураций атомов, хотя ясно, что феномен этот связан с непространственной динамической симметрией атомных систем [1–6]. До сих пор ясно не очерчены границы применимости *ПЗ*, и, в частности, не выяснено, какой тип свойств соединений какого структурного или топологического класса (или классов) изменяется периодически и почему. Продолжается полемика относительно верхней границы *ПС* и специфики ядерных и электронных свойств атомов сверхтяжелых элементов [7–9]. Наконец, остается во многих отношениях загадочной сама история открытия *ПЗ* и создания *ПС*, история, о некоторых важных гранях которой пойдет речь в этой статье.

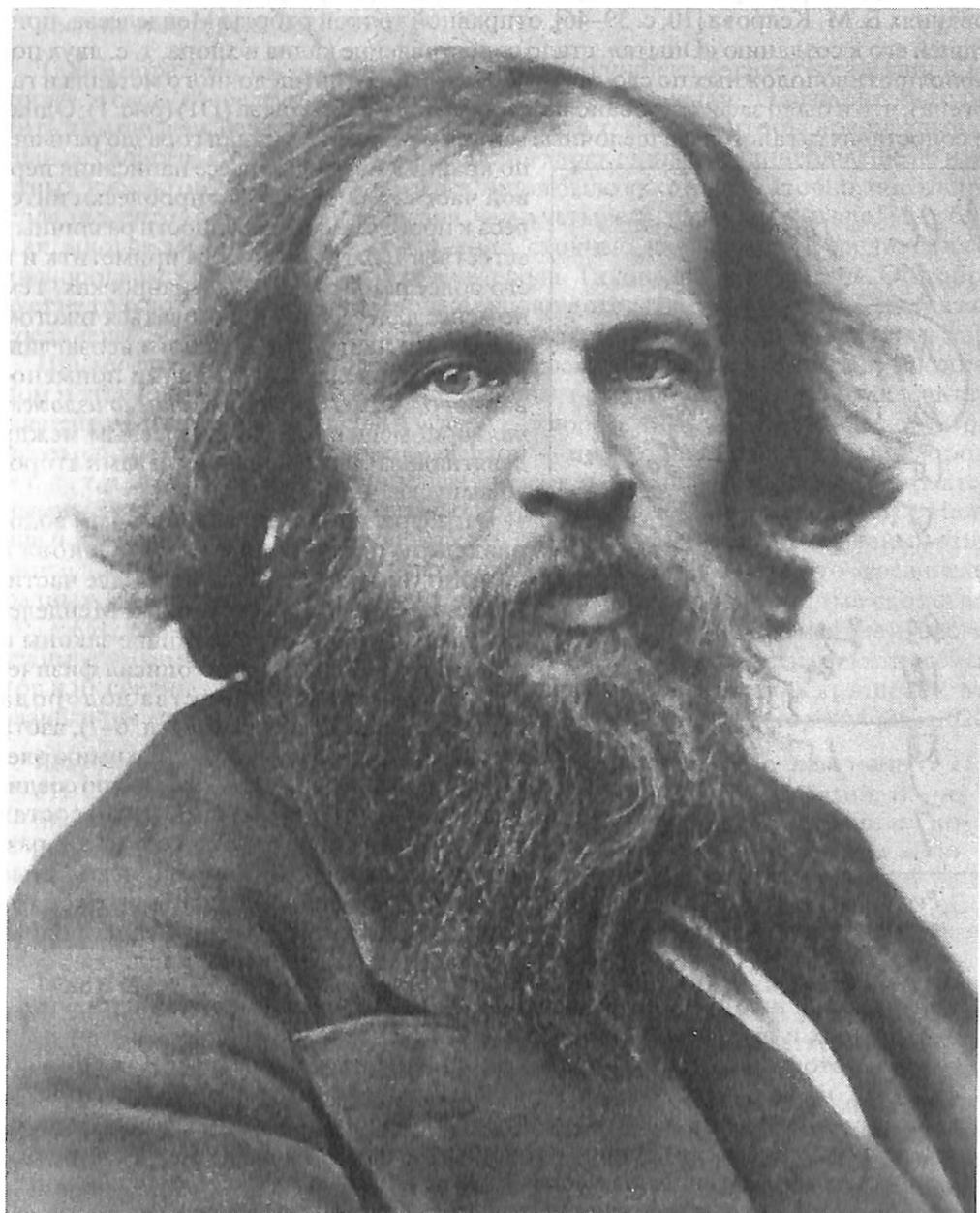
Великому открытию Д. И. Менделеева посвящена обширная литература. Среди наиболее обстоятельных историко-научных исследований в этой области прежде всего следует назвать работы Бонифатия Михайловича Кедрова (1903–1985) и в первую очередь его монографию «День одного великого открытия» [10] (далее сокр. «День»)*.

Интерпретация Кедрова, основанная на скрупулезном анализе как литературных источников, так и архивных документов (набросков, писем и рукописей Менделеева), оказала и продолжает оказывать глубокое влияние на других исследователей. Однако уже в начале 1970-х гг. справедливость отдельных выводов Кедрова была поставлена под сомнение в работах А. А. Макаренни, в частности в его монографии [14]. Но только в 1990 г. появилась статья Д. Н. Трифонова [15], в которой критически рассматривалась кедровская версия в целом и предлагалась новая. До этого, особенно при жизни Кедрова, советские историки химии, как правило, не решались открыто выступать с серьезным и беспристрастным анализом его работ менделеевского цикла и предпочитали в своих работах по истории открытия *ПЗ* либо следовать его версии [16], либо обращаться к тем аспектам истории учения о периодичности, которых он детально не касался [14].

* См. также [11–13].

Среди зарубежных исследований в обсуждаемой области наиболее значимые работы принадлежат Б. Бенсод-Венсан [17], И. ван Спронсену [18], Д. Раусону [19], Н. Бруксу [20, 21], Л. Грэхему [22, 23], М. Кайдзи [24–26] и др. Впрочем, за рубежом до сих пор не появилось ни одной работы, *детально* освещающей процесс создания Менделеевым *ПС* (при том, что книга Кедрова [10], как и другие его крупные работы по Менделееву, не были переведены ни на английский, ни на французский, ни на немецкий языки), хотя в последние годы были опубликованы превосходные исследования, посвященные восприятию менделеевского открытия во Франции, Британии и Америке [27, 28]. Кроме того, в зарубежной историографии немало внимания было уделено вопросу о том, кого же следует считать подлинным первооткрывателем *ПЗ* — Менделеева, Л. Майера, У. Одлинга или всех сразу (см., к примеру, [18, гл. 5; 29]. При этом те зарубежные авторы, которые по причине незнания русского языка не могли работать с первоисточниками, вынуждены были довольствоваться переводами трудов Менделеева и российских историков химии, в частности, двумя небольшими зарубежными публикациями Кедрова [30, 31]. И хотя существующих (как правило, прижизненных) переводов работ Менделеева в основном на немецкий, в несколько меньшем объеме на французский и в еще меньшем количестве на английский языки вполне достаточно для общего знакомства с идеями и открытиями русского ученого, их совершенно недостаточно для серьезной исследовательской работы. Что же касается тех занимающихся творчеством Менделеева западных историков, которые владеют русским языком и работали в российских архивах (в частности, в Музее-архиве Д. И. Менделеева Санкт-Петербургского университета), то, *во-первых*, отнюдь не все из них интересовались именно историей открытия *ПЗ*, а *во-вторых*, на тех, кто этой историей интересовался, большое (я бы даже сказал, слишком большое) влияние оказали взгляды Кедрова. В итоге доминирующие позиции и в учебной, и в научной литературе как в России, так и за рубежом по-прежнему занимают версия Кедрова или ее модификации. Главный недостаток этой версии состоит даже не в том, что весь процесс открытия был спрессован в один день и решающим событием оказался инсайт во время дневного сна. Хуже другое — открытие *ПЗ* представлено не как результат напряженной работы химической (а точнее, физико-химической) мысли, но как следствие удачного размещения карточек, на которых были выписаны атомные веса химических элементов. Тем самым вместо глубокого анализа драмы идей Кедров предложил непритязательный нарратив об удачно сошедшемся «химическом пасьянсе».

Сказанное естественным образом определяет цель настоящего исследования — реконструировать историю открытия *ПЗ* и создания *ПС* как одну из граней процесса решения физико-химической проблемы генезиса свойств веществ, очертив тот круг проблем и понятий, в котором эволюционировала мысль Менделеева. Поэтому наряду с новым анализом архивных материалов мною будут рассмотрены также тексты первого издания «Основ» и первых статей Менделеева о *ПЗ*. При этом я не буду (или почти не буду) касаться здесь таких вопросов, как а) ранние научные работы Менделеева и их роль в подготовке открытия *ПЗ* (этой теме посвящена моя отдельная статья, в настоящее время готовящаяся к публикации); б) приоритетная полемика (ибо перед тем, как выяснять, кто первый открыл *ПЗ*, полезно разобраться, что именно было открыто тем или иным претендентом на авторство); и в) прогнозирование Менделеевым свойств еще не известных и исправление ошибочно определенных атомных весов известных элементов (этой теме посвящено множество работ, в том числе и автором этих строк [32–34]). Но даже без этих трех сюжетов история открытия *ПЗ* сложна и драматична, гораздо сложнее и драматичнее, нежели в версии Кедрова.



Д. И. Менделеев

Педагогические трудности или «камень химического преткновения»?

Согласно широко распространенному утверждению, берущему начало в исследованиях Б. М. Кедрова [10, с. 39–46], отправной точкой работы Менделеева, приведшей его к созданию «Опыта», стало сопоставление калия и хлора, т. е. двух полярно противоположных по своим свойствам элементов (щелочного металла и галогена), что и было зафиксировано на обороте письма Ходнева (D1) (рис. 1). Однако сопоставлять галогены и щелочные металлы Менделеев начал гораздо раньше,

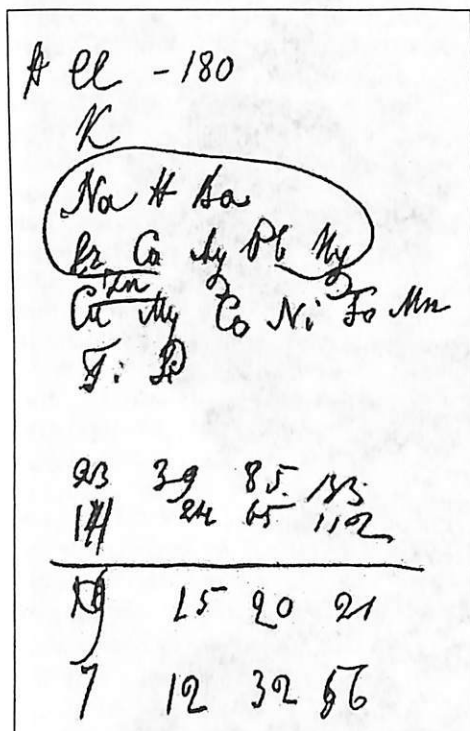


Рис. 1. Записи Д. И. Менделеева на обороте письма А. И. Ходнева (документ D1)

по крайней мере в процессе написания первой части «Основ»*, хотя проблески интереса к проблеме соотносительности различных естественных групп можно приметить и в его более ранних работах и набросках. Тем не менее далее я буду пользоваться текстом «Основ» и начну с небольшого неозаглавленного раздела, в оглавлении поименованного как «План последующего изложения» и помещенного Менделеевым между девятнадцатой и двадцатой главами второго выпуска.

Этот фрагмент стал своеобразным водоразделом, поделившим текст «Основ» в концептуальном отношении на две части. В главах, ему предшествующих, Менделеев, рассмотрев некоторые общие законы и понятия химии, подробно описал физические и химические свойства водорода (гл. 5), кислорода и оксидов (гл. 6–7), азота (гл. 11) и углерода (гл. 15), т. е. химию элементов-органогенов, а также химию соединений, качественный элементный состав которых представляет собой все десять различных попарных комбинаций названных четырех элементов — аммиака, оксидов азота, соединений углерода с водородом, углеазотистых соединений и т. д.

Выгодно с них (т. е. с органогенов. — И. Д.) начать изложение основных данных и выводов химии, — пояснял Менделеев свой замысел, — не только потому, что они и многие их соединения ближе всего знакомы каждому, не только оттого, что они и соединения их участвуют почти во всех хорошо изученных химических превращениях <...>, но еще и потому, что взаимные их соединения могут служить типом для всех других химических соединений, т. е. представляют такие атомные отношения, в каких и подобных которым соединяются и другие элементы между собою.

Водород	NH	Аммиак	N ³ N
Вода	H ² O	Болотный газ	H ⁴ C.

* Сопоставление же конкретно калия и хлора, как ближайших по величинам атомных весов элементов, могло быть сделано (если записи в верхней части документа D1 вообще имеют отношение к обсуждаемым вопросам) только позднее, при составлении таблички D2b, что будет показано ниже.

Значит, элементы можно различать по подобию их с Н, О, N, С и, сообразно этому сходству, предугадать если не свойства (например, кислотность и щелочность), то по крайней мере состав хотя бы некоторых из их соединений [35, с. 650–651].

Таким образом, структура изложения была подчинена логике теории типов, которые, в свою очередь, понимались как типы по замещению. Однако чтобы охватить химию всех известных тогда элементов, а тем более чтобы предугадывать если не свойства, то по крайней мере состав характерных соединений еще не известных элементов, упомянутых четырех типов было явно недостаточно, ибо в «природе элементов больше разнообразия, чем в четырех», названных выше [35, с. 651]. Так, многие элементы «дают соединения, сходные, например, и с соединениями кислорода и с соединениями азота и углерода. Такова, например, сера. Она образует не только <...> соединения, показывающие сходство с кислородом, но также и соединение SO_2 , сходное с CO_2 не только по составу, но и по характеру» [там же].

Иными словами, сера оказалась как бы переходным элементом между кислородом и углеродом, а кислород, по аналогичным основаниям, можно было считать элементом, переходным от серы к углероду, хлор же Менделеев считал элементом, переходным от Вг и J к кислороду, а фтор — переходным от хлора к кислороду и т. д., т. е. под переходным понимался элемент, наделенный свойствами, характерными для элементов двух естественных групп (*межгрупповая* переходность). Наличие подобных взаимопересекающихся кругов переходности, обусловленных относительностью самого понятия «переходный элемент», а также тем, что «соединения разных элементов представляют многие взаимные и разнородные сходства» [35, с. 651], свидетельствовало о невозможности ограничить межэлементные аналогии узкими рамками какой бы то ни было группы. Из относительности свойств элементов и их соединений вытекала относительность таксономических критериев, вызванная тем, что «химическое сходство элементов не идет в одну сторону» [36, с. 620].

Поэтому сравнивать каждый элемент с одним из рассмотренных нами (т. е. с Н, С, N или О. — И. Д.) не всегда возможно, а иногда и бесполезно. Изучение химических соединений должно состоять не в одном указании их количественного, даже частичного, состава, оно требует определения химического их характера. <...>. Строго говоря, каждый элемент обладает самостоятельными свойствами, но у некоторых из них есть несколько общих признаков с теми, которые уже рассмотрены нами [35, с. 651].

Таким образом, Менделеев начал сопоставлять естественные группы элементов не с их, как он позже выразился, «простого арифметического сближения» [37, с. 307], т. е. не путем, как думал Кедров, «сближения групп несходных элементов вплотную по величине атомных весов их членов» [10, с. 54], но с глубокого осмысления химических — фактологических и понятийных — аспектов проблемы рациональной классификации элементов. В том-то и дело, что такие естественные группы, как, например, галогены и халькогены, не были, на взгляд Менделеева, *абсолютно* несходными (еще раз сошлюсь в качестве примера на аналогию хлора и кислорода, к которой автор «Основ» обращался неоднократно [35, с. 696–698, 705 et passim]). Даже сопоставляя галогены и щелочные металлы, он рассматривал как «степень /их/ качественного химического различия», так и «степень /их/ количественного сходства» [36, с. 96]. Сблизить же «сходные элементы различных групп» [38, с. 33] можно было, только сближая группы по величине атомных весов входящих в них элементов.

Но сколь бы глубоко ни осознавал Менделеев сложность межэлементных отношений, для продолжения работы над «Основами» ему необходимо было дать очень конкретный ответ на очень конкретный вопрос: химию каких элементов следует излагать далее и на какие принципы при этом опираться? Менделеев, «за недостатком лучшего начала», решает описать «сперва элементы, наиболее сходные с водородом, потом с кислородом, азотом и углеродом» [35, с. 651–652]. Но какие элементы наиболее сходны с водородом и о каком сходстве — качественном или количественном *par excellence* — должна идти речь?

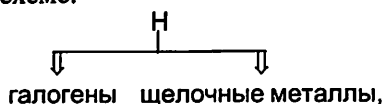
Дмитрий Иванович рассуждал так:

Водород образует частицу H^2 ; следовательно, такие одноатомные элементы R и M, как водород H, образуют соединения HR, HM и RM. Самый лучший пример тому представляет хлористый натрий $NaCl$ <...>, потому что и хлор, и натрий в своих соединениях ближе всего напоминают водород по частичному составу и даже во многих отношениях и по химическому характеру.

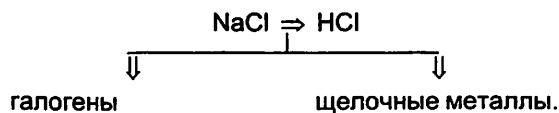
Соединения водорода	HH	HNO	HCH^3	HCN
" хлора	Cl^2 , HCl	Cl^2O , HClO	$ClCH^3$	ClCN
" натрия	Na^2 , NaC	INa^2O , NaHO	$NaCH^3$	NaCN.

При этом H^2O — окисел безразличный, HClO — кислота, а $HNaO$ — щелочь, тем не менее в общем характере соединений H, Na и Cl есть много сходного [36, с. 652].

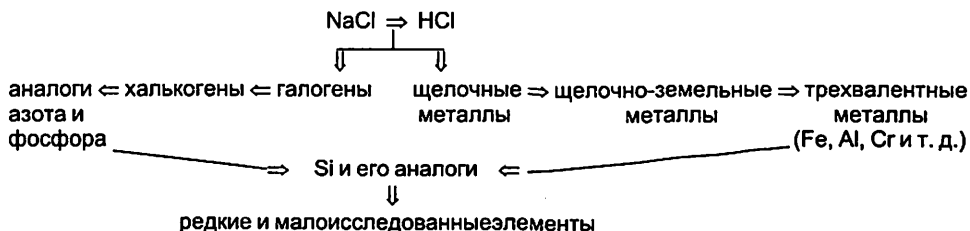
Вот, собственно, с чего и началось (по крайней мере, если судить по тексту «Основ») сближение галогенов и щелочных металлов. Менделеев делает интересный ход — он не просто предполагает изложить сперва химию галогенов, а затем щелочных металлов, следуя схеме:



но начинает фактически с введения нового типа — $NaCl$, соединения, служащего «в науке прототипом солей как особого класса химических соединений» [35, с. 652]. Иными словами, он обращается к веществу, в котором *самой Природой* сопоставлены в их, так сказать, прямом соотношении, два во многих отношениях прямо противоположных по физическому и химическому характеру элемента. Именно с целью демонстрации подобного «предельного» (т. е. доведенного до образования прочного химического соединения) примера соотношения *самой Природой* противоположных («предельных») по своему характеру элементов Менделееву и понадобилось вводить новый химический тип, ибо с чисто формальной точки зрения ему вполне хватило бы трех типов Жерара с добавлением к ним предложеного Кекуле и Одлингом типа метана [39, с. 261–272]. При этом если раньше, в главах 5–19, он сначала излагал химию типических элементов-органоенов, а затем переходил к описанию их взаимных соединений, то теперь изложение планировалось вести в ином порядке: сначала рассмотреть типологическое соединение ($NaCl$), потом HCl как пример типичной кислоты, связанной с типичной солью по замещению, и, наконец, химию галогенов и щелочных металлов:



Но что излагать дальше? Вопрос даже не в том, к каким именно элементам логично было бы обратиться. Здесь у Менделеева сомнений практически не было, ибо поскольку «натрий есть представитель химического характера <...> металлов, составляющих большинство простых тел» [35, с. 652], то вторую часть «Основ» естественнее всего было посвятить металлам, выстраивая их в порядке нарастания атомности («за недостатком лучшего начала»). А далее перейти к неметаллам, выстраивая их по тому же принципу. Тогда структура последних глав первой части и вся вторая часть «Основ» могли быть подчинены такой (или примерно такой) схеме:



Но именно такая схема (или подобная ей) и не устраивала Менделеева, в частности, по причине его скептического отношения к теории атомности и осознания им условности деления простых тел на металлы и неметаллы. Схемы такого рода не отвечали ни его методологическим принципам*, ни его таксономическому идеалу естественной системы (о котором речь пойдет в следующем разделе), ни, наконец, его химическим взглядам.

Предприняв составление руководства <...>, названного «Основы химии», — писал он вскоре после создания «Опыта», — я должен был остановиться на какой-нибудь системе простых тел, чтобы в распределении их не руководствоваться случайными, как бы инстинктивными побуждениями, а каким-либо определенно-точным началом [38, с. 16].

Для такой постановки вопроса у Менделеева были все основания, поскольку к концу 1868 г. он уже ясно понимал, что: 1) искомая им естественная классификация должна быть непременно классификацией *химических элементов* в том широком, абстрактном понимании этого термина, к которому он пришел, по-видимому, еще до написания «Основ»; 2) «величина атомного веса, по самому существу предмета, есть данное, относящееся не к самому состоянию отдельного простого тела, а к той материальной части, которая обща и свободному простому телу, и всем его соединениям» [38, с. 17], т. е. является измеримым свойством химического элемента; 3) «мера сходства двух элементов определяется сравнением свойств соответственных их соединений» [36, с. 169], тогда как «атомные веса показывают, что в ряду сходственных щелочных металлов, как и в ряду галогидов, можно расположить элементы по величине атомного веса, чтобы судить об относительных свойствах сходственных соединений тел этой группы» [36, с. 101–102]** и 4) извест-

* См. последний раздел настоящей статьи.

** Ср. с аналогичным наблюдением, сделанным в конце первого тома «Основ»: «Если мы сравним четыре рассмотренные нами элемента — фтор, хлор, иод и бром, — то можем видеть в них весьма замечательный пример сходственных соединений, отличающихся между собой физическими свойствами в том же самом порядке, в каком они отличаются и атомным весом. Если мы представим себе тела, сходственным образом составленные, но отличающиеся атомным весом, то мы должны полагать, что при большем атомном весе, как и при большем весе частицы, получится вещество, обладающее высшим удельным весом, высшею температурою кипения и целым рядом свойств, зависящих от этого изменения в основных свойствах» [35, с. 757].

ные группы элементов-аналогов не являются замкнутыми совокупностями, но определенным образом связаны между собой благодаря переходному характеру отдельных входящих в них, по преимуществу легких, элементов, играющих роль своеобразных «мостиков» между группами. Таким образом, направление и характер поисков Менделеевым «определенно-точного начала» химии в известной мере были предопределены, хотя сами по себе указанные обстоятельства, разумеется, еще не гарантировали успеха в решении таксономической задачи.

В заключение этого раздела мне бы хотелось остановиться на некоторых наблюдениях Л. Грэхема, сделанных им по поводу «Основ».

В декабре 1868 г., — пишет Грэхем, — он (Менделеев. — И. Д.) закончил последние главы первой части своего учебника, которые были посвящены галогенам. <...>.

Закончив с галогенами, Менделеев начал размышлять, какую группу элементов рассмотреть следующей по порядку в начале второй части своей книги. Он решил начать с таких металлов, как калий, натрий и литий. Затем возник вопрос, какое семейство металлов должно следовать за щелочными металлами. Логичными кандидатами выглядели щелочно-земельные металлы, такие, как кальций, магний, стронций и барий. <...>. Таким образом, Менделеев в своей схеме следовал бы принципу возрастания валентности. В этот момент (?? — И. Д.), однако, возникла серьезная проблема с металлами, чья валентность оставалась неопределенной, как, например, у меди или ртути. В одних соединениях эти элементы проявляли валентность один, а в других — два. Когда их следует рассматривать, до или после щелочно-земельных металлов? Менделеев решил поставить переходные металлы типа меди и ртути до щелочно-земельных металлов, и первый вариант (плана. — И. Д.) новых глав его учебника отразил этот подход.

Заметим, что до сих пор Менделеев руководствовался в своей работе принципами валентности и сходства химических свойств, а не возрастания атомных весов. Это были наиболее подходящие принципы для автора учебника, стремящегося уложить большой объем информации в довольно простую схему. Они совсем не были похожи на принципы, которыми руководствовался бы человек, поставивший себе цель доказать, что периодичность есть функция атомного веса [23, с. 58–59].

На мой взгляд, в этих замечаниях не учтены по меньшей мере два обстоятельства. Первое — это некоторые особенности аргументации Кедрова, на работы которого [10, 11] опирался Л. Грэхем. Бонифатий Михайлович приводит следующую расшифровку соответствующего фрагмента первоначального наброска «наиболее раннего плана» «Основ» [10, с. 343] (рис. 2):

Cl	I	Br	F		
Na	K	Cs	Ag		
[S]Ca	Sr	Ba	Pb	Hg	Cu
Mg					

(в квадратных скобках стоит зачеркнутый символ серы или, возможно, Менделеев начал записывать символ стронция).

Совершенно очевидно, что медь и ртуть уже в самом раннем варианте плана «Основ» оказывались *после* щелочно-земельных металлов. По поводу же серебра Кедров замечает: «Затем, возможно уже во второй половине 1868 г., Дм. Ив. произвел новые изменения, перестановки и дополнения <...>. Прежде всего Ag (одноатомный элемент) был вычеркнут из ряда одноатомных (щелочных) металлов, поставлен в один ряд с двуатомными металлами <...>. Однако вследствие такой перестановки первоначальный принцип распределения элементов по атомности оказался частично нарушенным» [10, с. 344]. Кроме того, между барием и свинцом Менделеев поместил Zn. В итоге обсуждаемый фрагмент плана первой части его учебника принял вид [10, с. 345, 349]:

му» [23, с. 58]*, — но и научную: поиск рациональной системы межэлементных отношений.

Приведенный выше анализ дает возможность перейти, наконец, непосредственно к истории создания ПС.

Системы милый идеал

Среди различных версий открытия ПЗ и создания ПС есть одна, которая историками науки была полностью проигнорирована, а Б. М. Кедровым даже довольно жестко раскритикована и отброшена [10, с. 425–427; 12, с. 122–128]. Парадоксально, что эта версия принадлежит ...самому Д. И. Менделееву.

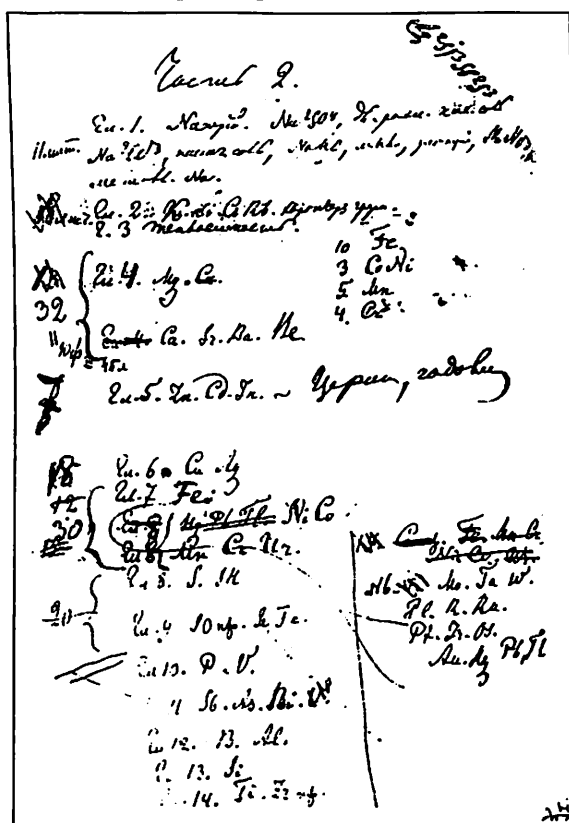


Рис. 3. План «Основ химии» (начало 1869 г.)

жил свой путь к открытию. Вот этот фрагмент из «Соотношения свойств», столь не понравившийся Кедрову:

... При всей перемене в свойствах простых тел, в свободном их состоянии, нечто остается постоянным, и при переходе элемента в соединения

* Кстати, Менделеев отнюдь не был любителем «простых схем», тем более когда речь шла о большом объеме сложной и противоречивой информации, чем он и отличался от многих своих «precursors and cocursors». «Лучше уж прямо видеть сложность явления, — писал он по этому поводу, — чем напрасно и ошибочно, без выгоды для дела, считать его проще действительности» [36, с. 201].

На мой взгляд, такое отношение к свидетельству автора открытия и несправедливо, и необоснованно. Да, Менделеев, когда речь заходила о том, как он открыл ПЗ, был весьма скуп на воспоминания. Его архив, в котором можно найти самые разнообразные документы, в том числе множество старых счетов, билетов, приглашений и тому подобных милых сердцу безделиц, содержит только четыре (!) листка с записями, фиксирующими этапы создания «Опыта» (см. рис. 1, 4–6), из которых один (D1) представляет собой, по выражению Д.Н. Трифонова, «криптограмму», не имеющую отношения по крайней мере к началу работы над «Опытом» [15а, с. 29], а документ D4 — это, по сути, переписанный набело документ D3. Однако совершенно ясно, что в поисках системы элементов Менделеев действительно «перепортил массу бумаги» [15, с. 33], о чем свидетельствуют не только воспоминания А.А. Иностранцева, но и текст первой статьи Менделеева о ПЗ [38, с. 18–23], в которой он кратко изло-

это нечто — материальное и составляет характеристику соединений, заключающих данный элемент. В этом отношении поныне известно только одно числовое данное, это именно атомный вес, свойственный элементу. <...>.

Вот по этой-то причине я и старался основать систему на величине атомного веса элементов.

Первая проба, сделанная в этом отношении, была следующая: я отобрал тела с наименьшим атомным весом и расположил их по порядку величины их атомного веса. При этом оказалось, что существует как бы период свойств простых тел, и даже по атомности элементы следуют друг за другом в порядке арифметической последовательности величины их пая:

Li=7; Be=9,4; B=11; C=12; N=14; O=16; F=19
 Na=23; Mg=24; Al=27,4; Si=28; P=31; S=32; Cl=35,5
 K=39; Ca=40; — Ti=50; V=51; —

В разряде элементов, имеющих пай более 100, встречаем совершенно аналогичский непрерывный ряд:

Ag=108; Cd=112; Ur=116; Sn=118; Sb=122; Te=128; I=127.

Оказывается, что Li, Na, K, Ag так же относятся друг к другу, как C, Si, Ti, Sn, или как N, P, V, Sb и т. д. Родилось тотчас предположение: не выражаются ли свойства элементов в их атомном весе, нельзя ли на нем основать систему? (38, с. 17–18).

Почему, на мой взгляд, нельзя игнорировать это свидетельство?

Во-первых, нет никаких оснований не доверять автору открытия. Менделеев мог не желать раскрывать перед посторонними свой сложный и извилистый путь к созданию *ПС**, но у него не было решительно никаких причин обманывать читателя, подсовывая ему уже после создания «Опыта» фрагмент не существовавшего ранее варианта системы.

Во-вторых, цитированный отрывок взят из работы, написанной Менделеевым не спустя годы и десятилетия после публикации «Опыта», но максимум в течение месяца после его создания, как бы ни датировать сроки написания статьи «Соотношение свойств» — по Кедрову или по Трифонову**.

В-третьих, характер «первой пробы» (будем далее так называть табличку, приведенную в цитированном фрагменте из «Соотношения свойств») вполне отвечает замыслу Менделеева, сформулированному им во второй главе второй части «Основ», где, сравнивая щелочные металлы и галогены, он отмечает, что вся совокупность свойств первых «заставляет поставить их весьма далеко от таких элементов, как хлор, бром и иод, а все остальные элементы поместить в системе между ними, как промежуточные признаки во всех вышеупомянутых отношениях (т. е. имея в виду реакции с водородом, кислородом, водой и т. д. — И. Д.)» [36, с. 53]. Иными словами, Менделеев предполагал построить систему элементов из структурных блоков следующего вида:

* И. Д. Менделеев в своих воспоминаниях об отце пишет: «Отец крайне не любил говорить с посторонними о личной, субъективной стороне своих переживаний, о том подготовительном периоде, когда формулировались мысли и слагалась постепенно уверенность, что он проник в одну из глубочайших тайн природы. “Молчи, скрывайся и тай / И чувства, и мечты свои”, — отвечал он часто словами Тютчева на назойливые вопросы» [40, с. 346.]

** В любом случае есть ряд непреложных фактов: листок с «Опытом» (D4) датирован 17 февраля 1869 г., а не позднее 5 апреля 1869 г. Менделеев держал корректуру статьи, которая была опубликована в майском номере «Журнала Русского химического общества» (ЖРХО) (т. 1, вып. 2/3).

щелочные металлы
или их формальные
(по количественным
признакам выявленные)
аналоги (Cu, Ag),
т.е. типичные металлы

промежуточные
элементы «с менее
резким химическим
характером» [38, с. 22]

— галогены,
т.е. типичные
неметаллы

(I)

Подобное построение никак не противоречит сказанному выше об отказе Менделеева использовать деление простых тел на металлы и неметаллы в качестве базисного критерия при построении рациональной систематики элементов. Классификации, основанные на таком критерии, предполагают разделение множества элементов в зависимости от физических свойств соответствующих простых тел на три подмножества: металлы, неметаллы и промежуточные тела (иногда, впрочем, обходились лишь первыми двумя совокупностями). Внутри же каждого подмножества элементы упорядочивались по ка-

ким-либо иным критериям (скажем, по атомности или по удельному весу) или вообще никак рационально не упорядочивались. Замысел Менделеева иной — то, что он называет металлом, есть физическая характеристика *состояния* простого тела при данных условиях, которая коррелирует с определенной совокупностью его химических свойств, и рациональная систематика *элементов* должна среди прочего наглядно демонстрировать эту корреляцию, отражая относительность деления простых тел на металлы и неметаллы и выявляя *постепенность перехода* от элементов, которым в качестве простых тел соответствуют типичные металлы, к элементам, которым отвечают простые тела с ярко выраженными неметаллическими свойствами. Понятие же элемента, будучи понятием абстрактным, вбирает в себя не только физические параметры простых тел в определенном интервале температур и давлений, но вообще все потенциально возможные проявления данного вида «материального вещества» [35, с. 489]. Элемент, в понимании Менделеева, будучи «идеальным понятием» [35, с. 490], представляет собой не просто некий материальный ингредиент, механическую часть це-

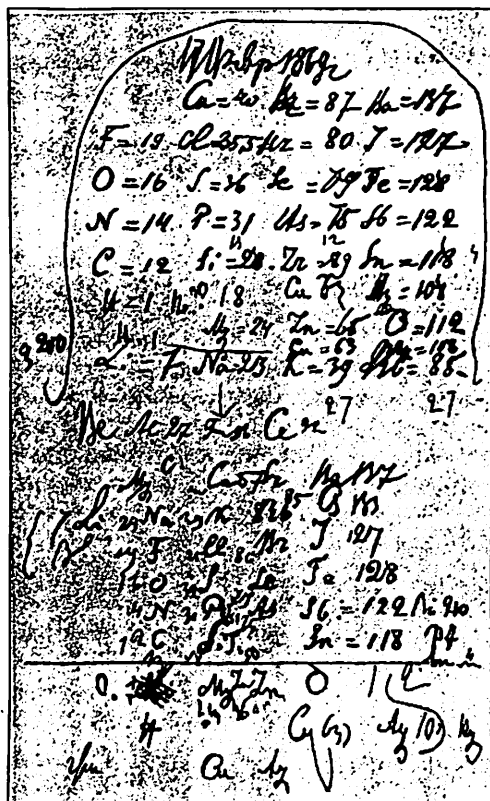


Рис. 4. Две черновые таблички
с набросками системы элементов
(документы D2a и D2b)

лого, некий стехиометрический минимум материй данного вида («l'espèce de matière»), способный в ходе химических превращений переходить без изменений, не дробясь, из одних соединений в другие, а будучи элиминирован из соединения, соединяться с другими «элементарными сущностями» того же или иного вида, но нечто большее. Элемент, в понимании Менделеева, будучи «не конкретным телом», но «материально однородным» «весомым веществом с суммой ему одному принадлежащих свойств» [38, с. 239], *потенциально* содержит в себе *весь спектр*

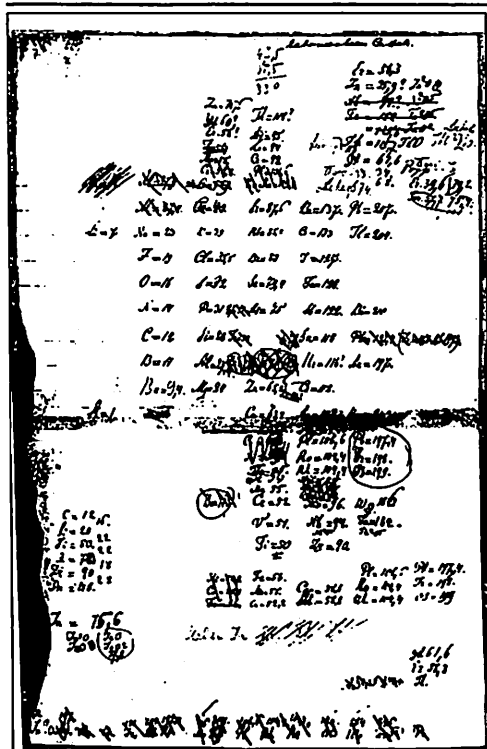


Рис. 5. Полный черновой план «Опыта» (документ D3)

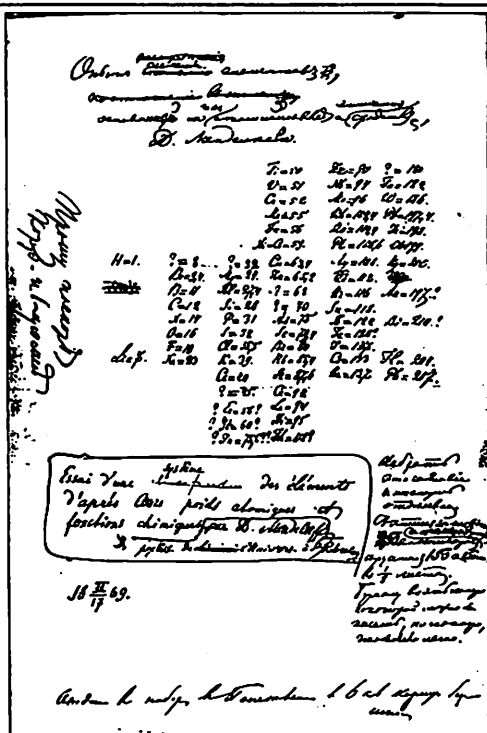


Рис. 6. Переписанный набело вариант «Опыта» (документ D4)

возможных форм, свойств и состояний, которые этот «стехиометрический минимум» способен выявлять и развертывать в определенных условиях. Возможность (или невозможность) образования тех или иных соединений, аллотропных модификаций, металлических или иных состояний и т. п., все это в «свернутом» виде включено, «втянуто» в понятие элемента, в силу чего систематика элементов обретает общехимическое (а потому и общенаучное) значение.

Исследователь, решая таксономическую задачу в рамках подобного понимания термина «элемент», может действовать не «внутри» многообразия форм и свойств простых и сложных тел, не выбирая подлежащие классификации объекты по ту или иную сторону разнообразных водоразделов (скажем, в области органических или неорганических тел, среди соединений определенного или неопределенного состава и т. д.), но заняв теоретическую позицию над этими разграничениями и типологиями, поскольку, к примеру, неопределенность состава кремнеземистых соединений оказывается затаенной в свойствах элементов кремния и кислорода, а многообразие составов и свойств углеводов в свернутом виде заложено в индивидуальных особенностях элемента углерода, в многообразии возможных для него «степеней напряжения колебаний» материи. Простое тело озон — одна из актуализаций того, что потенциально наличествует в идеальном химическом объекте — элементе «кислород», в свойственной ему химической энергии, т. е. в спектре возможных, присущих этому элементу различных («колебательных») состояний материи.

При этом само понятие о химической энергии, как следует из сказанного выше, также является весьма емкой абстракцией, теснейшим образом связанной с абст-

ракцией химического элемента. Действительно, химическая энергия — это, по сути, обобщенная характеристика потенциальной способности тела вступать в различные химические превращения. И в этом аспекте понятие химической энергии родственно современному понятию реакционной способности.

Таким образом, каждый элемент, по Менделееву, как химический индивид характеризуется своей химической энергией (ее количеством и качеством, т. е. структурой возможных «колебательных состояний материи»), а как стехиометрический минимум — относительным весом (т. е. атомным весом, если воспользоваться атомистической терминологией). Простое тело в таком случае оказывается, говоря языком Аристотеля, *эпитехией* элемента, т. е. осуществлением того, что существовало потенциально (Физ. III.1; Метаф. IX.8).

Замечу также, что постановка таксономической задачи, выраженная схемой (I), т. е. предполагающая выявление предельных форм и всех промежуточных, переходных градаций между ними, — весьма характерна для научного стиля Менделеева (см. последний раздел данной статьи).

Кроме того, сформулированный в «Основах» принцип построения системы элементов отчетливо прослеживается в «первой пробе», тогда как в «Опыте» топология размещения естественных групп несколько иная — галогены и щелочные металлы вплотную примыкают друг к другу.

Теперь — о возражениях Кедрова, полагавшего, что «первая проба» была сделана «не до открытия периодического закона и не во время его открытия, а после» этого [10, с. 425]. Главный довод Бонифатия Михайловича (если, разумеется, не считать его рассуждений о том, что свидетельство Менделеева противоречит его, Кедрова, версии) состоит в том, что *до и в начале* создания «Опыта» Менделеев принимал для Be атомный вес 14 и ставил его не между Li и B в группу щелочно-земельных металлов, а в «намечавшуюся было группу вместе с Al, Fe и Cu» [там же].

По поводу этого замечания Кедрова можно сказать следующее. *Во-первых*, в D2a и D2b Менделеев вообще не указывает атомного веса Be. *Во-вторых*, «химический пасьянс» Менделеев, если верить Кедрову (что, впрочем, необязательно), раскладывал, пользуясь карточками, на которых были записаны основные свойства элементов, взятые из таблицы, а точнее, из алфавитного списка элементов, приведенного в первой части первого издания «Основ». К этому списку Менделеев приписал атомные веса, указав для бериллия «9,3?». В D3 бериллий включен с атомным весом 9,4. *В-третьих*, — и это самое главное — к 1868–1869 гг. химики уже давно пользовались *двумя* величинами атомного веса бериллия: 14,0 и 9,3–9,4. К примеру, Г. И. Гесс в своем учебнике «Основания чистой химии»* принял для оксида бериллия «магнезиальную» (BeO), а не «глиноземную» (Be₂O₃) формулу и, соответственно, атомный вес, равный 9,3 (у Гесса: 58,084 при O=100 [42, с. 288])**. В таблицах А.Е. Бегье де Шанкуртуа (1862), Д. Ньюлендса (1865), У. Одлинга (1864 и 1868) и Л. Майера (1864 и 1868) Be с атомным весом 9–9,3 помещен в одну группу с Mg и щелочно-земельными металлами [18, с. 98, 109, 114–115, 126, 128], правда, последний приводит также и значение A(Be)=14,7. И *в-четвертых*, в плане второй части «Основ», составленном Менделеевым в самом начале 1869 г. (рис. 3) [10, с. 347], бериллий стоит в одном ряду с Ca, Sr и Ba. Это означает, что еще до со-

* Этот учебник выдержал семь изданий (первое — 1831 г., последнее — 1849 г.) и до публикации «Основ» Менделеева оставался основным руководством по химии в России. Менделеев был хорошо знаком с учебником Гесса, заметив как-то, что по нему «начало учиться все современное поколение русских химиков» (цит. по [41, с. 98]).

** При этом Гесс, как позже и Менделеев, ссылался на исследование И.В. Авдеева [43]. (Материалы о жизни и работах Авдеева см. в [44]).

здания «Опыта» Менделеев принял для оксида бериллия магниальную формулу и атомный вес 9,3–9,4.

Таким образом, создавая «Опыт», Менделеев *выбрал одно из* приводившихся в известной ему литературе значений атомного веса бериллия, а именно — $\text{Be}=9,4$. Выбор этот опирался, в частности, на то, отмеченное еще в 1840-х гг. Авдеевым и Гессом обстоятельство, что сульфаты бериллия и магния «удерживают весьма энергично последний пай кристаллизационной воды», причем обе указанные соли дают с сульфатами щелочных металлов «двойные соли, содержащие в два раза более, а не в четыре раза более (как для квасцов, т. е. глинозема) серной кислоты, чем во взятой сернощелочной соли»*, и эти двойные соли К и Ве «изоморфны с солями, образованными магнием и сходными с ним металлами» [36, с. 166–167]**.

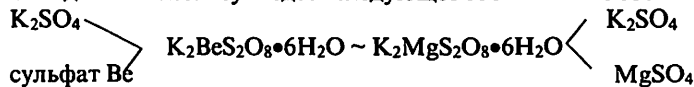
Принять $\text{Be}=14$ Менделеев не мог еще и потому, что тогда бы в центральной части системы элементов, в ее костяке, оказались два совершенно несходных элемента с одинаковыми атомными весами ($N=\text{Be}=14$). Это противоречило бы его главной идее о зависимости свойств элемента от его атомного веса. Если с поразительной близостью атомных весов Со и Ni ($\text{Со}=59$ и $\text{Ni}=59,5$ по данным Менделеева [36, с. 299]) еще можно было примириться, поскольку эти элементы и по своим химическим свойствам близки, то допустить совпадение атомных весов столь различных элементов, как азот и бериллий, можно было, только вообще отказавшись от идеи зависимости свойств элементов от их атомного веса.

Если моя гипотеза верна и «первая проба» была действительно первой или одной из первых попыток создать систему элементов (в пользу чего ниже будут приведены также другие аргументы), то отсюда следует важный вывод: в процессе реализации намеченного в начале второй части «Основ» плана построения такой системы из блоков (I) Менделеев оперировал таблицами, которые по своей структуре напоминали таблицу, приведенную на рисунке 7***. Действительно, по многим признакам (горизонтальное расположение периодов, максимальное разнесение групп «резко различных элементов» [38, с. 22] и т. д.) эта таблица аналогична как «первой пробе», так и многим другим таблицам, созданным в промежутке между публикацией «Опыта» и появлением «Естественной системы» (конец 1870 г.).

Следует также принять во внимание, что к февралю 1869 г. идея построения системы элементов из структурных блоков типа (I) получила надежное химическое обоснование, что ясно видно из текста первой главы второй части «Основ»:

Элементы, у которых окислы R^2O суть основные и постоянные, составляют крайний ряд. Их энергия, как основных элементов, наибольшая. К, Na суть их представители. Хлор и его аналоги, окислы которых вида R^2O весьма не-

* Менделеев использует здесь следующее соответствие составов солей:



Откуда: $\text{Be} \sim \text{Mg}$, но не Al.

** Приведенная цитата взята из 4-й главы 2-й части «Основ», но изложенные в ней факты были известны Менделееву задолго до написания этого учебника.

*** Еще Кедровым было подмечено сходство «первой пробы» с этой таблицей [38, с. 688], хотя последняя, скорее всего, относится ко времени написания статьи «Соотношение свойств».

вом, в них неметаллические свойства выражены менее резко, чем в галоидах. Наконец, есть еще разряд элементов, таких, как углерод и азот (речь идет о простых веществах. — И. Д.), в которых ни металлических, ни галоидных свойств не выражено с резкостью и которые в этом отношении занимают промежуток между двумя вышеупомянутыми разрядами простых тел. Очевидно, что этот род простых тел составляет как раз переход между галоидными элементами и ясно металлическими. Кислород приближается более к характеру галоидов, углерод имеет между неметаллическими телами наименее галоидных свойств <...>. Все это дает возможность распределить элементы между группами щелочных металлов и галоидов ... (36, с. 95–96).

Приведенные цитаты показывают, как Менделеев формировал «полюса» будущей системы и чем он предполагал заполнять пространство между ними. Такое расположение элементов укладыванием штабелями фрагментов типа (I) так, чтобы атомные веса увеличивались сверху вниз и слева направо, представляется — по крайней мере в качестве «первой пробы» — самым естественным, если учесть весь накопленный Менделеевым к началу 1869 г. научный опыт, т. е. если принять во внимание его методологические принципы; его трактовку понятия «химический элемент»; усвоение им идей Бертолле о влиянии массы на химические превращения, что затем вылилось в идею зависимости свойств элементов от их атомного веса; его знакомство с таксономическими поисками Дюма* и других исследователей; выраженную им в магистерской диссертации мысль о почленном соотношении множеств объектов, упорядоченных по некоторому параметру; его интерпретацию понятия «переходный элемент» и т. д., и т. п.

Но тогда Менделеев неизбежно должен был столкнуться со следующими трудностями:

— число элементов в разных фрагментах типа (I), если брать фрагмент «щелочной металл — галоген», оказывалось различным (между Li и F, как и между Na и Cl, умещалось по пять элементов, тогда как путь от K=39 до Br=80 — много длиннее, между ними надо было разместить не менее 12 известных в то время элементов:

* Который, кстати, в 1858 г. занимался сопоставлением некоторых групп элементов-аналогов по величине атомных весов их членов, например:

F=19 Cl=35,5 Br=80 J=127 Разность атомных
N=14 P=31 As=75 Sb=122 весов ок. 5

(см. подр. [18, с. 90–91]). Как справедливо заметил И. ван Спронсен: «Одлинг и Дюма показали взаимосвязи между группами элементов-аналогов; Одлинг в своей системе отметил связь четырех групп, а Дюма — связь между элементами, относящимися к группам фтора и азота и к группам кислорода и магния (в последнем случае Дюма сравнивал эквиваленты элементов. — И. Д.). Хотя эти соотношения были крайне ограниченными (чего, разумеется, никак нельзя сказать о подходе Менделеева. — И. Д.), сам факт их установления должен рассматриваться как поворотный момент в изучении взаимосвязей между элементами» [18, с. 95]. Знал ли Менделеев о работах Дюма 1858–1859 гг. (о более ранних знал наверняка)? Вполне возможно. Во всяком случае в книге А. Штрекера (Strecker) «Theorien und Experimente zur Bestimmung der Atomgewichte der Elemente» (Braunschweig, 1859), которую Менделеев привез из заграничной командировки 1859–1861 гг., на с. 142 при изложении работ Дюма приводится следующий ряд атомных весов и эквивалентов:

O=8; N=14; Ca=20; Cr=26,

с указанием, что в этой последовательности чисел «die Differenz stets 6 beträgt», и абзац этот подчеркнут Менделеевым на полях двумя линиями (Музей-архив Д.И. Менделеева СПбГУ, 1-я библиотека, 16/3).

Ca=40; Ti=50; V=51; Cr=52; Mn=55; Fe=56; Co=Ni=58,8; Cu=63; Zn=65; As=75; Se=79);

— фрагменты (Li–F) и (Na–Cl) отличались от остальных не только числом входящих в них элементов, но и, что важнее, характером «начинки», а также *темпом и ритмом* изменения свойств простых тел и соответствующих соединений при переходе от щелочного металла к галогену (скажем, в ряду K–Br оказывались такие элементы, как V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, химия которых существенно отличалась от химии прямых аналогов фосфора, серы и хлора, т. е. от химии As, Se и Br)*;

— в результате различной длины фрагментов «щелочной металл — галоген» оказалось также, что

в крайних рядах

Li	Na	K	Rb	Cs
F	Cl	Br	I	

не существует надлежащего соответствия разностей:

Li=7		Na=23		K=39		Rb=85
	12		12,5		41	42,
F=19		Cl=35,5		Br=80		I=127

а потому приходится в разных рядах иметь различное изменение разностей <...>. Или предполагать при составлении системы очень много недостающих членов. То и другое мало выгодно [38, с. 22].

Но вместе с тем уже на примере легких элементов (с атомными весами от 1 до 40) Менделеев не только убедился в том, что свойства элементов «выражаются <...> в их атомном весе» (закономерность, ясно проявившаяся при рассмотрении характера изменения свойств элементов одного естественного семейства, например галогенов), но и в том, что при расположении элементов в порядке возрастания их атомных весов наблюдается «как бы период свойств» [38, с. 18]. Тем самым он если и не предложил полную формулировку *ПЗ*, то, по крайней мере, ухватил его ядро — *периодический характер изменения свойств элементов с изменением их атомных весов*. И все дальнейшие его действия были направлены на проверку этой пока еще гипотезы, а точнее, двух гипотез:

- о каузальной зависимости свойств элементов от величины их атомного веса и
- о периодическом характере этой зависимости.

Теперь необходимо было построить рациональную систему химических элементов, которая бы ясно выражала указанные зависимости.

Как уже было сказано, на начальном этапе создания такой системы (на этапе «первой пробы») Менделеев, по-видимому, составил полную таблицу по схеме (I):

* Позднее, уже после создания «Опыта» и, возможно, в процессе построения «Естественной системы», Менделеев так напишет об этом в 8-й главе «Основ»: «Марганец и хром составляют переход от железа к ванадию и титану. Идя от меди к титану, мы встречаем в порядке элементов, последовательно расположенных по величине атома, элементы легче и легче образующие высшие продукты окисления <...>, обладающие меньшим основным и большим кислотным характером. Здесь то же, что замечено было при сравнении Na и Mg, K и Ca, но только в обратном отношении: высший атомный вес влечет способность к образованию низшей степени окисления и придает более основных свойств, там — обратное» [36, с. 301].

Li	Be	B	C	N	O	F											
Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl											(IIa)
K	Ca	—	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	—	—	As	Se	Br	
Rb	Sr	—	Zr	Nb	Mo	—	Rh	Ru	Pd	Ag	Cd	U	Sn	Sb	Te	I и т. д.	

Кроме того, он располагал также и ее «укороченным» вариантом:

Li	Be	B	C	N	O	F											
Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl											
K	Ca	—	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni								(IIb)
Cu	Zn	—	—	As	Se	Br											
Rb	Sr	—	Zr	Nb	Mo	—	Rh	Ru	Pd								
Ag	Cd	U	Sn	Sb	Te	I											и т. д.

О том, что такие варианты таблиц во время создания «первой пробы» (точнее, «первых проб») у Менделеева были, говорят, помимо приведенных выше цитат из начала второй части «Основ» и фрагмента статьи «Соотношение свойств», также следующие два обстоятельство.

Во-первых, в статье «Соотношение свойств», во втором примечании, приводят-ся контуры полной таблицы:

вверху	Li	Na	K	Rb	Cs	Tl
	—	—	Ca	Ba	Sr	Pb
потом	—	—	V	Nb	Ta	—
	—	—	Cr	Mo	—	и т. д.
а внизу	O	S	Se	Te	—	—
	F	Cl	Br	I	—	— (38, с. 22).

Во вторых, в черновике (D4) и в отпечатанном варианте «Опыта» под символом Ca стоит «?=45», который, как заметил А.А. Макареня, «мог быть рассчитан только при знании короткого варианта системы» [14, с. 107]. Действительно, «?=45» есть среднее арифметическое атомных весов Ca=40 и Ti=50, которые в «первой пробе» — и в (IIa), и в (IIb) — стояли в одном горизонтальном ряду, тогда как в «Опыте» эти элементы заметно разнесены.

По мнению Макареня, Менделеев в период создания «Опыта», который «является так называемым длинным вариантом», располагал также коротким вариантом системы, «но еще не окончательно отработанным» [14, с. 104].

Вариант (IIa) Менделеева по указанным выше причинам не устраивал, и тогда он «расщепил» длинные периоды надвое, воспользовавшись *количественной* аналогией меди и серебра со щелочными металлами, а также двойственной аналогией магния (с Zn—Cd и со щелочно-земельными металлами). Нечто подобное, как он полагал, должно иметь место и в других столбцах, например в столбце азота и фосфора. Действительно,

ванадию, судя по исследованиям Роско*, должно быть дано место в ряду азота, его атомный вес (51) заставляет его поместить между фосфором и мышьяком. Физические свойства оказываются ведущими к тому же само-

* Речь, видимо, идет о статье [45].

му определению положения ванадия: так, хлорокись ванадия VOCl_3 представляет жидкость, имеющую при 14° удельный вес 1,841 и кипящую при 127° , что и приближает ее, а именно ставит выше соответственного соединения фосфора [38, с. 24–26].

При этом Менделеев хорошо понимал, что если мышьяк является ближайшим аналогом фосфора, то аналогия фосфор ~ ванадий скорее количественная, в качественном же отношении ванадий более сходен с хромом, «это есть, так сказать, хром из группы азота» [36, с. 619].

Возвращаясь к точке зрения Макареши, отмечу, что его версия представляется мне недостаточно радикальной (если рассматривать ее как альтернативу версии Кедрова) и не вполне последовательной. По моему мнению, вариант (IIb) «первой пробы» не просто «использовался Менделеевым в это время (т. е. в период создания «Опыта». — И. Д.)» [14, с. 120], но представлял собой *начальный этап* поиска «систематического распределения элементов» [38, с. 10]. Именно на этом этапе, который, увы, невозможно зафиксировать с точностью до дня, но который можно с уверенностью отнести к самому началу 1869 г., Менделеев, оперируя таблицами типа (IIa) и (IIb), пришел к мысли о *периодическом* характере зависимости свойств элементов от их атомного веса. Более того, вариант (IIb) представлялся ему наиболее естественным, однако он вынужден был нарушить выявленный «очевидный порядок, соответствующий периодической повторяемости свойств всех элементов» [14, с. 106]. Почему?

По мнению Макареши — и в этом я с ним совершенно согласен — исключительно «потому, что только так (как сделано в «Опыте». — И. Д.) и можно было отразить два типа сходства (два разряда элементов), не нарушая основных взаимосвязей между элементами как составляющими костяк таблицы, т. е. элементами первого разряда, так и элементами второго разряда» [14, с. 106]. Непосредственным же толчком к столь «причудливому» распределению элементов, какое мы видим в «Опыте», послужило, согласно версии Макареши, следующее обстоятельство: при размещении

элементов второго разряда между элементами естественных групп часть вставляемых элементов остается за рамками контуров системы семи групп, которые явно обозначались (в том числе в незавершенном виде у предшественников Менделеева)*. Причем этими элементами оказались ранее выделенные в триады железо–кобальт–никель, рутений–родий–палладий и осмий–иридий–платина, т. е. элементы, имеющие наибольшее сходство — близкие химические свойства при близких (в пределах триады) атомных весах. Но ведь точно такой же тип сходства наблюдался и у так называемых церитовых металлов — лантана, церия, дидаима. Если в предлагавшемся Менделеевым коротком варианте (из семи групп) три отмеченные выше триады хотя и оказывались за бортом, но могли составить (и составили) новую, особую группу — группу триад, то церитовые металлы при таком распределении оказались бы в центре системы (напомню, что для Се принимался атомный вес 92 вместо правильного 140; для лантана — 94 вместо 139, а дидим ($\text{Di}=95$) вообще оказался смесью неодима ($\text{Nd}=144$) и празеодима ($\text{Pr}=141$). — И. Д.). Вот когда возникла проблема их распределения в системе! Не потому ли первый вариант — «Опыт системы элементов ...» — имеет столь «причудливый» вид? [14, с. 105].

Нет, главным образом, не потому. Во-первых, церитовые металлы никак не «оказывались» в центре системы, им там просто не было места. Где, собственно, можно

* Речь идет о группах щелочных металлов, бериллия, бора, углерода, пниктогенов, халькогенов и галогенов.

было в таблице типа (IIb) разместить церий? Между $Zr=90$ и $Nb=94$? Но он не был аналогом ни того, ни другого, что Менделеев хорошо знал. Кроме того, если Nb более или менее естественно вписывался в группу азота и фосфора, а Zr — в соседнюю с ней группу углерода и кремния, то церий не вписывался ни в ту, ни в другую. По аналогичным причинам в центре системы не было места ни La , ни Di^* . Во-вторых, церий, лантан и дирид выделить в отдельную строку не представлялось возможным, ибо подобная попытка привела бы к «внедрению» между $Zr=90$ и $Mo=96$ четырех элементов ($Ce=92$, $La=94$, $Nb=94$ и $Di=95$), только один из которых (Nb) занял бы естественное место в соответствующем столбце. В-третьих — и это, на мой взгляд, самое главное — переход от таблиц типа (IIa) и (IIb) к «Опыту» ситуацию с церитовыми элементами не менял. И в том, и в другом типе таблиц эти элементы с теми атомными весами, которые им тогда приписывались, оказывались «за бортом» системы. Поэтому мысль о том, что «наличие небольшого звена редкоземельных элементов осложнило решение вопроса о форме выражения периодического закона» [14, с. 106], причем настолько, что пришлось создать весьма «причудливый» вариант системы элементов, по-видимому, придется оставить, сколь бы соблазнительной она ни казалась.

Но что же тогда заставило Менделеева временно отказаться от «очевидного порядка, соответствующего периодической повторяемости свойств всех элементов» [14, с. 106]? Видимо, этот порядок, выраженный в таблицах типа (IIb), который, замечу, вполне устраивал У. Одлинга и Л. Майера, для Менделеева в начале 1869 г. был совершенно неприемлем. И главная причина его отказа от «первой пробы» в варианте типа (IIb) состояла, по моему мнению, в отсутствии ясных и строгих критериев объединения в один столбец элементов разных разрядов. Это подтверждается собственным признанием Менделеева, сделанным им уже после того, как проблема длинных периодов была решена:

Существование этого-то периода (из 17 членов, от К до Вг. — И. Д.) и заставило меня в моей первой статье придать предложенной мною системе тот вид, под которым она наиболее известна <...>. То, что тогда составляло для меня некоторое затруднение, то ныне и служит главною причиною общности системы [38, с. 78].

Как видим, не в церитах тут дело. Здесь уместно еще раз вернуться к тому, что понимал Менделеев под выражением «разряд (класс) элементов». В пятой главе «Основ» он дает по этому поводу следующее разъяснение:

есть два класса /элементов/, сходственных между собой. В одном классе <...> сходственные вещества представляют постепенное увеличение в атомном весе, сообразно с постепенным изменением в характере и в свойствах соединений. Пример этому <...> в галоидах, щелочных металлах, в металлах щелочных земель <...>. Другой разряд сходственных элементов характеризуется тем, что при том большом сходстве, какое здесь существует, нет различия, или, правильнее сказать, нет значительного различия в величине атомного веса сходственных элементов [36, с. 191].

* Все, что мог написать Менделеев о химических аналогиях церитовых металлов в пятой главе «Основ», так это то, что они сходны, «по всей вероятности, с магнием» [36, с. 187]. А на другой странице он добавил, что церий «во многих отношениях сходен» ...с марганцем [36, с. 189], а «лантан не дает такой высшей степени соединения, какую дает церий, подобно тому, например, как магний не дает высшей степени соединения, тогда как марганец такую высшую степень соединения образует» [36, с. 189].

Т. е. в одном случае сближаются элементы вертикальных столбцов (главных подгрупп, по современной терминологии), а в другом — элементы «вставной декады» $((n-1)d)$ -элементы, как бы мы сегодня сказали) одного и того же периода.

Причина различия в первом разряде сходственных элементов, — продолжает Менделеев, — весьма понятна из значительной разности в весе атомов сходных элементов, но для металлов второго разряда причина замечаемого различия не лежит уже в величине и в весе атома, а конечно, в других внутренних различиях материи, входящей в состав атомов таких сходственных элементов, подобно тому различию, какое замечается между изомерными сложными телами. Между последними известна изомерия нескольких родов; один вид такой изомерии, называемый полимерностью, весьма легко понимается, потому что вес частицы полимерных тел не одинаков (фактически здесь речь идет о гомологах. — И. Д.). <...>. Но есть другой род изомерии, называемый метамерностью. Метамерные тела имеют один и тот же вес частицы, но между тем в них распределение частей или атомов внутри частицы, несомненно, не одинаково, потому что их реакции различны. <...>. В сходных по характеру элементах, представляющих близкие атомные веса, мы видим нечто подобное тому, что замечаем в этих метамерных соединениях. Между ними есть метамеры, очень близкие по своим свойствам <...>, но есть не мало и таких, свойства которых значительно различаются. Так и между элементами, имеющими близкие атомные веса. Натрий (23), магний (24), алюминий (27), кремний (28), фосфор (31), сера (32) и др. представляют близкие атомные веса и при этом ясное различие в химическом характере, тогда как церий, лантан и диимий, так же как железо, марганец, никель и кобальт имеют столь же близкие атомные веса и между тем представляют много сходного в своем характере [36, с. 191–192].

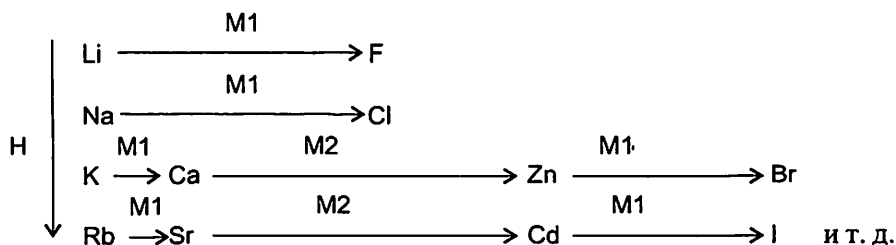
Таким образом, Менделеев, разделяя элементы на два разряда, опирался на аналогию атомов («элементарных тел») с органическими соединениями, или, другими словами, на *метамерно-гомологическую* модель системы (сокращенно *МН-модель*), причем вектор аналогии шел от органической химии к неорганической. Элементы первого разряда при движении по вертикали соотносятся друг с другом наподобие гомологов, хотя в строгом смысле слова гомологами не являются, тогда как элементы второго разряда соотносятся друг с другом при движении слева направо (по периоду) как метамеры. Наличие метамероподобных межэлементных отношений означало, что свойства элементов определяются не только величиной и весом атома, но и «внутренними различиями материи», входящей в состав атомов, т. е. внутриатомной структурой.

Эта мысль Менделеева о сложной структуре атомов химических элементов перекликается с его рассуждениями о «недостаточности одного понятия о простых телах для выражения всего разнообразия свойств тел природы» [35, с. 314] из девятой главы первого выпуска «Основ». «Можно представить себе <...>, — замечает Менделеев, — что простые тела суть изомерные видоизменения друг друга, отличающиеся прочностью. <...>. Вот в этом-то отношении изучение изомерных тел и кратности паев (например, если $H=1$, равно ли $O=8$?) представляет величайший интерес» [35, с. 314–315]. (Ср. с другим высказыванием Менделеева: «Иногда образованные сложными радикалами соединения совершенно сходны с теми, какие дают радикалы простые (т. е. атомы. — И. Д.) или более простые. <...>. Рождается возможность думать, что и сами простые тела (судя по контексту, речь здесь идет о

простых радикалах, т. е. элементах. — И. Д.) могут быть со временем разложены» [35, с. 74–75].) Из подобных рассуждений следовало, что свойства сложных и простых тел (а возможно, и свойства химических элементов) зависят не только от количественных и качественных характеристик образующих их составных частей, но также от «состояния и распределения» последних [35, с. 332]. Иными словами, свойства элементов определяются не только величинами их атомных весов, но и состоянием и распределением субатомных масс. Подобную возможность допускал не только Менделеев (см. [46])*.

Кроме того, как следует из приведенной выше цитаты, Менделеев различал два типа метамерии: 1) когда постепенное, но неуклонное изменение свойств элементов сопровождается постепенным, но небольшим изменением их атомных весов (обозначим этот тип метамерии *M1*) и 2) когда сравнительно небольшое изменение свойств сопровождается малым изменением атомных весов (*M2*). Для элементов первого разряда характерна гомологоподобная (*H*-) зависимость от величин атомных весов при движении по вертикали и *M1*-зависимость при движении по горизонтали (по периоду). Поэтому элементы первого разряда я буду называть также *HM1*-элементами, а элементы второго разряда — *HM2*-элементами.

В терминах *MH*-модели структура «первой пробы» (вариант (IIb)) может быть представлен в следующем виде:



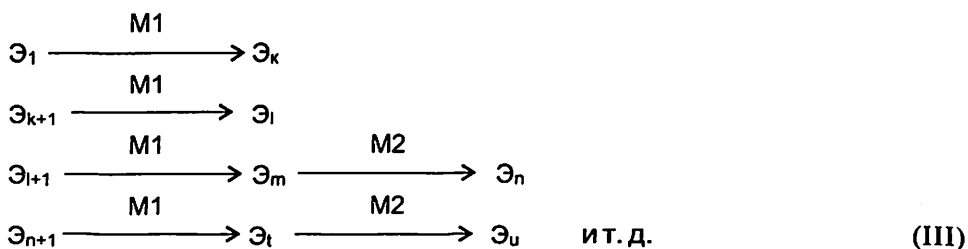
В период создания «Опыта», когда критерии объединения элементов обоих разрядов в единую систему были еще не ясны**, что и составляло, как Дмитрий Иванович изволил изящно выразиться, «некоторое затруднение»***, ему представилось более естественным разъединить *HM1*- и *HM2*-элементы, т. е. разобщить подмножества элементов с разным механизмом генерации свойств. Именно поэтому, имея в руках вариант системы, по формальным признакам весьма близкий к тому, который впоследствии получил название короткой формы (или «естественной системы»), Менделеев отказался размещать элементы второго разряда среди элементов первого, поскольку размещением марганца между хлором и бромом, хрома между серой и селеном, ванадия между фосфором и мышьяком и т. д. «разорвалась бы естественность связи членов одного <...> ряда» (т. е. членов одной

* К примеру, статья Л. Майера [47] начиналась словами: «То, что пока еще не разложенные химические элементы абсолютно неразложимы, в настоящее время представляется по меньшей мере весьма неправдоподобным. Напротив, атомы элементов — это, по-видимому, отнюдь не последние (letzten), но лишь ближайшие составные части (die näheren Bestandtheile) молекул» [47, с. 354].

** Хотя Менделеев и понимал, что, к примеру, «в марганце есть некоторое сходство с хлором, как в хроме с серой» [38, с. 26].

*** Замечу попутно — чтобы это «некоторое затруднение» вообще возникло, в распоряжении Менделеева должна была быть такая форма (или структура) системы элементов, которая стала бы его (этого «затруднения») источником. Такой формой могла быть только система типа (IIb).

главной подгруппы, как бы мы сегодня сказали) [38, с. 26]. Менделеев даже не решился объединить в один столбец $\text{Be}=9,4$; $\text{Mg}=24$; $\text{Ca}=40$; $\text{Zn}=65$; $\text{Sn}=87$; $\text{Cd}=112$ и $\text{Ba}=137$, т. к. в этом случае в одну группу попали бы «аналоги, несомненно, принадлежащие к разным рядам (т. е. к разным вертикальным столбцам, если иметь в виду расположение элементов, характерное для «первой пробы». — И. Д.)» [38, с. 26]. И это при том, что в первых трех столбцах (IIb) сходство *HM1*- и *HM2*-элементов проявляется куда явственней, нежели в последующих. В частности, хотя Mg , Zn и Cd «представляют много аналогий с Ca , Sr и Ba », они относятся к *разным* разрядам, а потому «перемешать эти тела в одну группу <...> значит нарушить естественное сходство элементов» [38, с. 26]. Менделеев даже пошел здесь против собственных утверждений в «Основах», где он, признавая «великое сходство» Mg с Zn [36, с. 107], к числу «настоящих щелочно-земельных металлов» относит Be , Mg , Ca , Sr и Ba [36, с. 120, 121, 167 *et passim*]. Поэтому если что по-настоящему и смущало Менделеева в «первой пробе», так это не «зависание» триад ($\text{Fe}-\text{Co}-\text{Ni}$; $\text{Ru}-\text{Rh}-\text{Pd}$ и $\text{Ir}-\text{Os}-\text{Pt}$), а то, что *только эти* триады, да цериты с гадолинитами и оказались «за бортом» системы, вне ее контуров. И задача его на этом этапе состояла именно в том, чтобы элиминировать из длинных периодов все *HM2*-элементы, т. е. элементы, не являющиеся прямыми аналогами Na , Mg , Al , Si , P , S и Cl . Тогда система обрела бы (воспользуясь снова *MH*-моделью) следующую структуру:



«Опыт» — сын ошибок трудных

Но как перегруппировать элементы, чтобы получить структуру (III)? Лишь на первый взгляд эта задача может показаться сравнительно несложной. Ведь надо было *перегруппировать* шестьдесят с лишним элементов, а не просто выбросить треть их из системы. Причем перегруппировывать элементы надо было так, чтобы сохранить их расположение в порядке возрастания атомных весов и по возможности не затушевывать периодический характер изменения их свойств. В противном случае система теряла цельность. Задача осложнялась тем, что Cu , Ag , Zn и Cd Менделеев относил к элементам первого разряда и поэтому не считал возможным удалять их из остова системы. Не склонен он был и создавать отдельные столбцы переходных элементов, располагая их между элементами естественных групп, ибо в этом случае вновь возникало бы то самое «некоторое затруднение» с критериями сходства элементов разных разрядов, о котором я уже упоминал. И уж подавно для него было неприемлемо располагать элементы так, как это впоследствии делалось в «длинных формах» *ПС*:

Li	Be												B	C	N	O	F
Na	Mg												Al	Si	P	S	Cl
K	Ca	—	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	—	—		As	Se	Br

Вообще, расположение элементов должно было быть таким, чтобы внутри системы по возможности не образовывались искусственные пустоты, т. е. пустоты, обусловленные нерациональным размещением элементов, ибо пустое место внутри естественной системы может служить указанием на существование не открытого еще элемента. Критикуя в статье «Соотношение свойств» один из в принципе возможных вариантов таблицы, Менделеев указывал среди его недостатков то, что при таком расположении элементов «середина таблицы была бы почти пустой и весьма сомнительною» [38, с. 22].

Ясно было одно — как бы ни перегруппировывать элементы, но три переходные группы (Ti — Ni, Zr — Pd, и ?=180 — Os) должны по величине атомных весов их первых членов примыкать к щелочно-земельным элементам. Поэтому сместить указанные группы на периферию, не отрывая их от Ca, Sr и Ba, можно было, только расположив последние на правом, галогенном, краю остова* системы. Но как же тогда должен выглядеть этот остов?

Документ D2a как раз и отражает попытки Менделеева ответить на этот вопрос. Характер почерка говорит о том, что символы и атомные веса Ca, Sr и Ba, а также галогенов, халькогенов и пниктогенов записаны уверенно и крупно. При чем — и на это следует обратить особое внимание — Менделеев *даже не пытался* размещать щелочно-земельные металлы внизу, рядом со щелочными. Кальций, стронций и барий без колебаний были записаны в D2a (уверенным и крупным почерком) на галогенной окраине остова системы (в D2a это верхняя часть таблицы). Кстати, если бы Менделеев, как полагал Кедров, строил остов, просто сближая «группы несходных элементов вплотную по величине атомных весов их членов» [10, с. 54], то рядом со щелочными металлами непременно оказались бы щелочно-земельные, в соответствии с «первыми требованиями аналогии» [38, с. 29], правилами «арифметического сближения элементов» [37, с. 307] и планами «Основ».

Трудная для Менделеева зона начиналась под группой углерода. Здесь характер записей иной, символы элементов и значения атомных весов писались быстро, иногда небрежно. Исключение составляет строка щелочных металлов, возможно, она была записана с отступом после строки углерода и кремния.

Может возникнуть вопрос — почему Менделеев сместил на окраину остова поначалу только щелочно-земельные металлы, оставив щелочные металлы на прежнем месте? Ведь это привело к нарушению принципа расположения элементов по возрастанию атомных весов. Полагаю, что, составляя D2a, он еще надеялся сохранить галогены и щелочные металлы в «крайних рядах» [38, с. 22], на разных «полосах» системы элементов. Но уже в следующей табличке, D2b, от такой структуры пришлось отказаться. Главная проблема, которую Менделеев надеялся решить, составляя табличку D2a, — определить правильное положение в остове системы двух групп: Mg — Zn — Cd и Cu — Ag. От этого зависело многое, фактически, здесь решалась судьба будущей ЛС.

Еще раз обратимся к версии Б. М. Кедрова. По его мнению, Менделеев сначала заполнил в D2a три верхние строки, а затем, пропустив одну строку (группу угле-

* Конечно, можно было примкнуть переходные группы не к щелочно-земельным элементам, а к Cu и Ag. Но тогда возникало два неудобства: *во-первых*, неясно, к какому элементу следовало примкнуть третью переходную группу, заканчивавшуюся осмием, поскольку вопрос о тяжелом аналоге серебра оставался открытым (в «Опыте» его место занимала ртуть, и только в конце 1870 г. Менделеев переместил золото из группы бора и алюминия в первую группу); а *во-вторых*, тогда образовались бы обширные лакуны за Ca, Sr и Ba. Потом, в окончательном варианте «Опыта», Менделеев пристроил переходные группы именно к меди, серебру и ртути, но сделает это, только видоизменив структуру остова системы.

рода), «обратился к водороду». «Подписав $H=1$ под $N=14$ (почему именно водород был подписан именно под азотом, Кедров не разъясняет. — И. Д.), Дм. Ив. увидел, что разность атомных весов равна здесь 13» [10, с. 361]. И далее Менделеев, уменьшая величины атомных весов P, As и Sb на 13 единиц, определил атомные веса элементов, которые должны были стоять в одной строке с водородом. Именно так, согласно Кедрову, и появился ряд: $H - ? = 18 - Cu - Ag$ [10, с. 362].

Думаю, Менделееву вообще не было никакой необходимости делать *такие* вычисления, поскольку он и без них знал, что между группами лития и углерода должны каким-то образом разместиться группы $Mg - Zn - Cd$ и $Cu - Ag$. При этом местоположение $Cu=63$ и $Ag=108$ сомнений не вызывало, они располагались под $Zr=89$ и $Sn=118$ соответственно. А вот затем действительно понадобилось выполнить некоторые расчеты, чтобы определить, элементы с какими атомными весами должны занять место под углеродом и кремнием в одной строке с медью и серебром. Менделеев записывает разности атомных весов $Sb=122$ и $Ag=108$ (14), $As=75$ и $Cu=63$ (12), берет их среднюю величину (13) и вычисляет атомные веса недостающих, как ему казалось, элементов. В итоге он получает строку: $H=1$; $?=18$; $Cu=63$; $Ag=108$, к которой затем добавляет $Hg=200^*$. Появление водорода было неожиданным** и нарушало порядок расположения элементов по возрастанию их атомных весов.

Далее Менделеев обратился к группе $Mg - Zn - Cd$, которую разместил между щелочными металлами и группой водорода, для чего последнюю пришлось переписать ниже. В итоге табличка D2a приобрела следующий вид:

	Ca = 40	Sr = 87	Ba = 137	
F = 19	Cl = 35,5	Br = 80	I = 127	
O = 16	S = 32***	Se = 79	Te = 128	
N = 14	P = 31	As = 75	Sb = 122	
C = 12	Si = 28	Zr = 89	Sn = 118	
	Mg = 24	Zn = 65	Cd = 112	
H = 1	? = 18	Cu = 63	Ag = 108	Hg = 200
Li = 7	Na = 23	K = 39	Rb = 85	

В этой таблице полностью отсутствует группа (ряд) В — Al, что вполне понятно, поскольку эта группа еще не сформировалась**** — скандий и галлий еще не были открыты, отсутствовали достоверные данные об атомных весах индия и иттрия, галлий считался аналогом щелочных металлов, алюминий и бор часто рассматривали как четырехатомные элементы [36, с. 668–669]***** и т. д. Поэтому Менделеев не стал увеличивать и без того высокую степень неопределенности

* Менделеев отсчитывал разности атомных весов от элементов группы азота, а не ближайшей группы углерода по причине наличия в последней $Zr=89$, который путал все расчеты ($A(Zr) - A(Cu) = 89 - 63 = 26$, тогда как $A(Sn) - A(Ag) = 118 - 108 = 10$) и который уже в следующей табличке (D2b) был вообще убран из остова системы.

** Вспоминая много лет спустя о создании ЛС, Менделеев заметил: «Никогда мне в голову не приходило, что именно водородом должен начинаться ряд элементов» [38, с. 485].

*** В черновике Д. И. Менделеева (см. рис. 4) описка ($S=36$). В действительности атомный вес серы 32.

**** Об истории формирования третьей группы ЛС см. [14, с. 117–125; 38; 39; 48].

***** В классификациях Гмелина (1843), Гладстона (1853), Петтенкофера (1850), Кука (1854), Дюма (1857), Одлинга (1857) и др. бор стоял в одной группе с углеродом и кремнием, в системе Хинрихса (1869) Al и В находились в разных группах [18, главы 4–5].

в трудной зоне остова включением туда элементов с недостоверно определенными «измеримыми свойствами». У него и так было достаточно причин для неудовлетворенности полученным результатом: принцип расположения элементов по возрастанию их атомных весов не был выдержан, вместо галогенов на противоположном от щелочных металлов «полюсе» остова системы оказались щелочно-земельные металлы, которым куда естественнее было бы находиться рядом с группой лития — натрия и т. д.

В этой ситуации Менделеев принимает тяжелое для себя решение: он отказывается от «двуполюсной структуры» системы. Щелочные металлы переносятся наверх *со сдвигом влево* (что позволяло сохранить правильную последовательность атомных весов), тогда как группы Mg — Zn — Cd и H — ? — Cu — Ag остаются в нижней части остова*. Полученная конфигурация зафиксирована в табличке D2b. Верхняя часть остова получила в ней следующий вид:

		Ca = 40	Sr = 87	Ba = 137	
Li = 7	Na = 23	K = 39	Rb = 85	Cs = 133	
	F = 19	Cl = 35,5	Br = 80	I = 127	
	O = 16	S = 32	Se = 79	Te = 128	
	N = 14	P = 31	As = 75	Sb = 122	Bi = 210
	C = 12	Si = 28	—	Sn = 118	

Этот фрагмент по своей структуре поразительно напоминает соответствующие фрагменты систем элементов, предложенных в 1864 г. Дж. Ньюлендсом [49, с. 94] и Л. Майером [50, с. 137] (рис. 8)**.

При таком распределении элементов разности между атомными весами щелочных металлов и галогенов оказались близкими (в среднем около 4,6), но с идеей расположения элементов по принципу (I) пришлось расстаться. Хотя поначалу, судя по торопливому характеру записей в D2b, Менделеев, видимо, с энтузиазмом отнесся к новому виду остова системы, ибо, пожертвовав одними «выгодами», он приобрел другие, в частности, возможность вернуться к принципу возрастания атомных весов.

Кроме того, анализ средней и нижней частей таблички D2b показывает, что Менделеев вновь обратился к мысли о размещении некоторых элементов второго разряда в остове системы, о чем свидетельствуют символы V=51 и Ti=50, вписанные между столбцами Ca и Sr. В реконструкции Кедрова этот фрагмент D2b выглядит так:

* Впрочем, возможна и иная версия составления таблички D2b. Обратим внимание на то, что символы тяжелых элементов (Ba 137, Cs 133 и т. д.) записаны крупно и уверенным почерком (хотя, бесспорно, табличка D2b писалась быстрее и небрежнее, чем верхняя часть таблички D2a). При этом атомные веса тяжелых элементов в D2b указаны справа от символа элемента, т. е. так, как Менделеев обычно и делал. (Правда, в D2b он почти везде опустил — видимо, для скорости записи — знаки равенства.) Большинство же остальных символов элементов записаны более мелким и быстрым почерком, причем атомные веса оказались слева от символа. Возможно даже, что сначала записывались атомные веса, а потом к ним добавлялись символы элементов. Все это наводит на мысль, что Менделеев начал составлять табличку D2b со столбца тяжелых элементов, а затем уже к ним подписывал соответствующие строки. Символ «Cs 133» он вставил между Ba=137 и I=127, в результате чего строка щелочных металлов оказалась смещенной влево и Li «завис», оказавшись вне контура остова системы.

** Замечу, что монография Л. Майера была переведена на русский язык в 1866 г.

O = 16	S = 32		Se = 79	Te = 128	
N = 14	P = 31	V = 51	As = 75	Sb = 122	Bi = 210
C = 12	Si = 28	Ti = 50	—	Sn = 118	Pt
B					Au Mo
? [Li = 7]	Mg = 24	In = 36	Zn = 65	Cd = 112	
			Cu = 63	Ag = 108	Hg = 200

Психологически стремление Менделеева вернуться к «короткой форме» таблицы вполне объяснимо: найди он критерии совмещения элементов двух разрядов — и наиболее трудные проблемы отпали бы сами собой, можно было бы вновь обратиться к таблице типа (IIb). Но наличие этого «некоторого затруднения» толкало его к поиску «причудливого» варианта системы.

Табличка D2b имеет еще одну любопытную особенность. Именно в ней калий оказался рядом с хлором (до сих пор Менделеев соотносил хлор с натрием). Это обстоятельство наводит на мысль, что записи на обороте письма Ходнева (D1) — если они вообще имеют отношение к процессу создания «Опыта» — фиксируют этап перехода от D2a к D2b. Действительно, в низшей части D2a Менделеев записывает разности атомных весов щелочных металлов и металлов группы Mg — Zn — Cd:

Валентность	4	3	2	1	1	2
Разность	.....	.....	.....	.....	Li 7,03	(Be 9,3)
Разность	.....	.....	.....	.....	16,02	(14,7)
Разность	C 12,0	N 14,4	O 16,00	F 19,0	Na 23,5	Mg 24,0
Разность	16,5	16,96	16,7	16,46	16,08	16,0
Разность	Si 28,5	P 31,0	S 32,0	Cl 35,46	K 39,13	Ca 40,0
Разность	$\frac{89,1}{2}$ 44,45	44,0	46,7	44,51	46,3	47,0
Разность	.....	As 75,0	Se 78,8	Br 79,97	Rb 85,4	Sr 87,0
Разность	$\frac{89,1}{2}$	45,6	49,5	46,8	47,6	49,0
Разность	Sn 117,6	Sb 120,6	Te 128,3	I 126,8	Cs 133,0	
Разность	$\frac{89,4}{2}$ 44,7	$\frac{87,4}{2}$ 43,7	.....	.....	35,5	
Валентность	Pb 207,0	Bi 208,0	.....	.....	(Tl 204,0?)	Ba 137,1
Валентность	4	4	4	2	1	
Валентность	Mn 55,1	Ni 58,7	Co 58,7	Zn 65,0	Cu 63,5	
Валентность	Fe 56,0					
Валентность	49,2					
Разность	48,3	45,6	47,3	46,9	44,4	
Разность	Ru 104,3	Rh 104,3	Pd 106,0	Cd 111,9	Ag 107,94	
Разность	$\frac{92,8}{2}$ 46,0	$\frac{92,8}{3}$ 46,4	$\frac{93}{2}$ 46,5	$\frac{88,3}{2}$ 44,5	$\frac{88,2}{2}$ 44,1	
Разность	Pt 197,1	Ir 197,1	Os 199,0	Hg 200,2	Au 196,7	

Рис. 8. Таблица Л. Майера 1864 г.

	Mg = 24	Zn = 65	Cd = 112
		Cu = 63	Ag = 108
Li = 7	Na = 23	K = 39	Rb = 85
	1	26	27
		(у Менделеева ошибочно 27)	

В D1 приводятся разности атомных весов элементов тех же групп, но со *смещенным* положением щелочных металлов, характерным для D2b*.

Na = 23	K = 39	Rb = 85	Cs = 133
(7) [7 =] 14	Mg = 24	Zn = 65	Cd = 112
(16) 9	15	20	21

Скорее всего, цель этих расчетов — определить атомный вес элемента, которому надлежало занять место перед магнием.

Если же учесть также нижний ряд цифр в D1 (7, 12, 32, 56, т. е. атомные веса Li, C, S и Fe), то можно предположить, что Менделеев искал соотношения между атомными весами элементов в духе Дюма:

$$\text{Na} = 23 = 2 \times 14 + 9 \text{ (возможно, что 14 здесь — это удвоенный атомный вес лития)}$$

$$\text{K} = 39 = 2 \times 12 + 15$$

$$\text{Rb} = 85 = 2 \times 32 + 20$$

$$\text{Cs} = 133 = 2 \times 56 + 21$$

При этом слагаемые вида 2А в приведенных формулах отвечают атомным весам Si (2×14), Mg (2×12), Zn (2×32) и Cd (2×56).

Из сказанного следует, что записи на обороте письма Ходнева никак не могут быть связаны с первоначальным этапом открытия ПЗ и создания ПС, как полагал Кедров [10, с. 43 et passim]. Эти записи скорее относятся ко времени составления таблички D2b, которая стала центральной частью «Опыта», тогда как ПЗ (или по крайней мере его смысловое ядро) был открыт ранее, в ходе работы над «первой пробой».

По причинам, о которых шла речь в первом разделе, я не буду реконструировать переход от D2b к D3 и D4 столь же детально, как это делал Кедров. Отмечу лишь основные особенности таблицы D3, важные для понимания генезиса менделеевской мысли.

Судя по виду документа D3, первая попытка Менделеева объединить в рамках одной системы элементы первого и второго разрядов не удалась. Он вновь попытался разместить переходные элементы (Ti, V, Cr, Zr) между элементами остова, но неудачно, главным образом, из-за неясности положения хрома. Менделеев отнес его было к аналогам бора и алюминия, что, разумеется, имело свои химические основания, но при этом нарушалась правильная, т. е. возрастающая последовательность атомных весов (Cr=52, Ti=50, V=51) и, кроме того, оставалась совершенно невыявленной аналогия хром — сера, тогда как для соседей хрома по столбцу соответствующие аналогии с элементами первого разряда (Ti~Si и V~P) были представлены вполне отчетливо. Разумеется, Менделеев мог переставить Cr, поместив его над ванадием, между серой и селеном и устранив тем самым указанные выше трудности. Но для этого нужно было иметь веские основания, и одного лишь

* Вначале в D1 под цифрой 23 Менделеев записал не 14, а 7 и, соответственно, значение разности не 9, а 16. В D2b в столбце натрия находился символ Li=7, впоследствии зачеркнутый.

«значительного подобия» SO_2Cl_2 и CrO_2Cl_2 [38, с. 34] (как, кстати, и сходства VOCl_3 с POCl_3) было явно недостаточно*, на чем я подробнее остановлюсь далее.

Тогда Менделеев пошел по формальному пути, расположив металлы группы железа в ряд по возрастанию их атомных весов: $\text{Ti}=50$; $\text{V}=51$; $\text{Cr}=52$; $\text{Mn}=55$; $\text{Fe}=56$; $\text{Co}=58,8$ (59); $\text{Ni}=58,9$ (60) и записав этот ряд в виде столбца под символом $\text{Cu}=63,4$, т. е. вне остова системы. Под символом $\text{Ag}=108$ он выписал (также столбцом) другой ряд металлов: $\text{Zr}=90$; $\text{Nb}=94$; $\text{Mo}=96$; Ru (у Менделеева Rh) $=104,4$; Rh (у Менделеева Ro) $=104,4$; Pd (у Менделеева Pl) $=106,6^{**}$, а под символом $\text{Hg}=200$ — столбец: $\text{Ta}=182$; $\text{W}=184$ (186); $\text{Os}=199$; $\text{Ir}=198$; $\text{Pt}=197,4$.

Из D3 видно, что Менделеев начал было надстраивать ряд Cr , Mn , Fe и т. д. над Ca , но затем примкнул все три указанные выше совокупности переходных элементов соответственно к Cu , Ag и Hg , поскольку вышеописанная им в D2b структура позволяла это сделать. Впрочем, она позволяла надстроить ряды переходных элементов и над щелочно-земельными металлами, но Cu , Ag и Hg и по физическим, и по химическим свойствам были ближе к переходным элементам, чем последние к щелочно-земельным.

В итоге под остовом системы образовалась следующая трехрядная субструктура:

$\text{Cu} = 63,4$	$\text{Ag} = 108$	$\text{Hg} = 200$
$\text{Co} = 60$	$\text{Pd} = 106,6$	$\text{Pt} = 197,4$
$\text{Ni} = 59$	$\text{Rh} = 104,4$	$\text{Ir} = 198$
$\text{Fe} = 56$	$\text{Ru} = 104,4$	$\text{Os} = 199$
$\text{Mn} = 55$	—	—
$\text{Cr} = 52$	$\text{Mo} = 96$	$\text{W} = 184$ (186)
$\text{V} = 51$	$\text{Nb} = 94$	$\text{Ta} = 182$
$\text{Ti} = 50$	$\text{Zn} = 90$	—

Триаду $\text{Pt} — \text{Ir} — \text{Os}$ Менделеев при переписывании D3 набело запишет в обратном порядке, т. е. в порядке возрастания атомных весов от Pt к Hg . Главная же трудность теперь заключалась в размещении церитовых, гадолинитовых и других редких

* Замечу также, что во второй части «Основ» Менделеев излагает химию хрома в главе 8: «Аналоги железа: кобальт, никель, марганец, хром (и уран)», а не в главе 12: «Аналоги серы: селен и теллур, молибден и вольфрам». По поводу же аналогии $\text{S} \sim \text{Cr}$ он замечает: «Хром из группы железа представляет переход к таким металлическим телам, как теллур, и к таким металлоидам, как сера, потому что не только образует кислоту такого же атомного состава, как и эти последние, изоморфную с ними в солях, но даже дает и летучую хлорокись RO^2Cl^2 , как и самая сера. Как для серы серная кислота составляет высшую постоянную степень окисления, так, по-видимому, и для хрома — хромовая. Но в низших степенях эти элементы не сходны между собой, SO^2 есть газ и кислотный ангидрид, CrO^2 есть перекись (это не могло бы составить еще признак различия, потому что между перекисью и кислотой нельзя положить резкой границы), не соединяющаяся с основаниями и тело твердое, нелетучее, в жару разлагающееся. Сера притом не дает окислов, какие постоянны для металлов железной группы, для нее мы не знаем ни SO^2 , ни $\text{S}^2\text{O}^3 < \dots >$. Хотя в сере проявляются не замечаемые в ряде железа свойства, но тем не менее между группою серы и группою железа существует, по крайней мере в высших степенях окисления, явственное сходство, а низших степеней соединения сера не дает $< \dots >$. Хром, наиболее сходный из группы железа с серой, нелетуч, сера летуча; с водородом хром до сих пор не соединен, сера же прямо соединяется и дает газ, обладающий, хотя слабыми, кислотными свойствами» [36, с. 365–366]. Из приведенного фрагмента ясно видна неуверенность Менделеева в аналогии хрома с серой или, по крайней мере, его неуверенность в том, насколько далеко такая аналогия может распространяться.

** Включенную поначалу в этот ряд группу $\text{Ce}=92$; $\text{La}=94$ и $\text{Di}=95$ Менделеев затем вычеркивает и помещает под остовом.

элементов, которым не нашлось места ни в остовете, ни в «подостовном» блоке. После некоторых колебаний и перестановок элементов Менделеев поступает следующим образом: переписывает всю систему, развернув ее на 180° и поместив фрагмент

? = 45	Ce = 92
? Er = 56?	La = 94
? Yt = 60	Di = 95
? In = 75,6??	Th = 118?

в ее нижнюю часть, в виде отдельного блока элементов, которые пока не нашли определенного места*. Свой окончательный вид «Опыт» обрел в таблицах D4 и D5 (F и R)** (рис. 9). ·

Составление «Опыта» и написание статьи «Соотношение свойств» [38, с. 10–31]*** подвели черту под важным этапом работы Менделеева по созданию рациональной систематики элементов. Теперь он был уверен, что:

— атомный вес является одним из важнейших параметров, определяющих коренные свойства элементов**** и потому «распределение элементов по атомному их весу не противоречит естественному сходству, существующему между элементами, а напротив того, прямо на него указывает» [38, с. 18–20];

* По мнению А.А. Макаренни, «можно предположить, что Менделеев подставил Ce=92, La=94, Di=95 (без знаков вопроса) к Se=87,6, несмотря на то, что при переходе к пятому столбцу (сверху Zr=90) он столкнулся с нарушением последовательности атомных весов. Кстати, при таком расположении Ce=92 выступает как аналог неизвестного еще элемента с атомным весом 45. <...> Таким образом, Менделеев мог предположить наличие за элементом <?=45> еще нескольких элементов, аналогичных лантану, дидиму и <Th=118?>. Однако вопросы справа и слева от символов других поставленных здесь элементов: <?Er=56?> <?Yt=60?> <?In=75,6?>, по-видимому, указывают на его сомнения относительно их атомных весов и положения в этой части системы [14, с. 107].

** Различий между D4 и D5 немного: в горизонтальном ряду H, ?=8; ?=22, Cu, Ag, Hg в печатном варианте убраны символы «?=8» и «?=22», а также переставлены символы родия и рутения (оба с атомным весом 104,4). На французском варианте «Опыта» (D5F) указана дата: 1 марта 1869 г. Правда, неясно, к какому событию она относится: к составлению «Опыта» (17 февраля 1869 г. по старому стилю или 1 марта 1869 г. по новому) или же ко дню выхода листка в свет.

В «Списке» своих сочинений Менделеев отметил: «Первые мысли о периодичности вложены мною в листок <...>, который 1 марта 1869 г. был послан многим ученым» [51, с. 53]. Кроме того, «Опыт» был включен в начало первой части «Основ» [35, с. 12].

*** Статья была написана (или, как полагает Д. Н. Трифонов, *дописана*) во второй половине февраля и доложена 6 марта 1869 г. на заседании РХО Н.А. Меншуткиным по просьбе Менделеева, поскольку последний по причине того, что «не скучал изучать все ветви сельского хозяйства» и имел к тому же «симпатии к артелям» [51, с. 58], 1 марта 1869 г. выехал из Петербурга для обследования артельных сыроварен Тверской губернии. Таким образом, на этот субботний день приходится, согласно [16, с. 110], кроме отъезда в командировку, еще два события: рассылка листов с «Опытом» и написание (или дописание) предисловия к первой части «Основ».

**** Менделеев понимал, и это видно из изложенного мною выше, что свойства элементов определяются не одной лишь величиной их атомного веса, но и другими факторами (например, внутриатомным распределением вещества). Поэтому он и написал, что «*величина атомного веса определяет природу элемента* настолько же, насколько вес частицы определяет свойства и многие реакции сложного тела» [38, с. 21], т. е. определяет сколь угодно существенным образом, но не целиком. И подобная осторожность вполне понятна, ибо атом после Конгресса в Карлсруэ стал, по сути, условным эффективным объектом, а не абсолютным ультиматом. Атом понимался как некий стехиометрический минимум, наименьший вес данного элемента, входящий во все его соединения.

— существующее «между естественными свойствами элементов и величиной их атомного веса» некоторое «точное отношение» [38, с. 20] имеет *периодический* характер в том смысле, что «элементы, расположенные по величине их атомного веса, представляют явственную *периодичность* свойств» [38, с. 30].

Таким образом, Менделеев к 17 февраля 1869 г. понял главное — характер той фундаментальной зависимости, которая связывает между собой все химические элементы. Однако полученный результат, сколь бы важен он ни был сам по себе, никак не мог считаться окончательным.

1

**ОПЫТ СИСТЕМЫ ЭЛЕМЕНТОВ,
ОСНОВАННОЙ НА ИХ АТОМНОМ ВЕСЕ
И ХИМИЧЕСКОМ СХОДСТВЕ**

H = 1		Ti = 50		Zr = 90	?	180.
		V = 51		Nb = 94	Ta = 182.	
		Cr = 52		Mo = 96	W = 186.	
		Mn = 55		Rh = 104,4	Pt = 197,4.	
N = 14		Fe = 56		Ru = 104,4	Ir = 198.	
		Ni = 59		Pd = 106,6	Os = 199.	
		Cu = 63,4		Ag = 108	Hg = 200.	
		Zn = 65,2		Cd = 112		
O = 16		?		68	U = 116	Au = 197?
		?		70	Sn = 118	
		As = 75		Sb = 122	Bi = 210?	
		Se = 79,4		Te = 128?		
F = 19		Br = 80		J = 127		
		Rb = 85,4		Cs = 133	Tl = 204.	
		Sr = 87,6		Ba = 137	Pb = 207.	
		?		92		
Li = 7		La = 94				
		Di = 95				
		Th = 118?				
Be = 9,4		Mg = 24				
		Al = 27,4				
		Si = 28				
		P = 31				
B = 11		S = 32				
		Cl = 35,5				
		Ca = 40				
		?		45		
C = 12		?Er = 56				
		?Yt = 60				
		?In = 75,6				

Д. Менделеев.

(Отдельное издание 1 марта 1869 г.)

Рис. 9. Оттиск «Опыта»,
вариант на русском языке (документ D5R)

Fe, Co и Ni составляет переход от K и Ca к Cu и Zn [38, с. 23], мало что объясняли. Переходные элементы явно демонстрировали известные аналогии с элементами первого разряда, хотя Mn и Cl, Cr и S, V и P и т. д. не были *полными* аналогами. В «Опыте» же элементы второго разряда оказывались всего лишь своеобразным «навесным мостом», соединяющим отдельные фрагменты остова.

Отсюда — сложное отношение Менделеева к своему созданию. Включив «Опыт» в первую часть «Основ» и в статью «Соотношение свойств» (не считая отдельных листков, отпечатанных для рассылки коллегам), Менделеев больше никогда его не публиковал, даже в статьях и в докладах, написанных и прочитанных до появления «Естественной системы элементов» (ноябрь 1870)*. К примеру, в до-

Если на начальном этапе работы над «Опытом» едва ли не главная трудность состояла для Менделеева в невозможности выделить из первых двух групп элементов (т. е. групп, включавших Li, Na, K, Cu, Rb, Ag, Cs и Be, Mg, Ca, Zn, Sr, Cd, Ba) «такие члены, которые разрывают последовательность в изменении свойств» [38, с. 33] (т. е. Cu с Ag и Zn с Cd) без значительного усложнения структуры системы [38, с. 32–33], то на заключительной стадии создания первого варианта *ПС* и в последующие месяцы главная проблема заключалась в поисках естественных критериев сближения элементов разных разрядов, т. е. остова и периферии системы. Только решение этой проблемы открывало путь к построению цельной естественной классификации элементов. «Опыт» же при всех его достоинствах не обладал ни цельностью, ни должной естественностью. А утверждения Менделеева, что, к примеру, ряд Ti, V, Cr, Mn,

* Так называемые «таблицы элементов по периодам» (т. е. «длинные формы» *ПС*), опубликованные во втором (1872–1873) и последующих изданиях «Основ» [38, с. 341–357], имеют с «Опытом» лишь частичное внешнее сходство.

кладе «Об атомном объеме простых тел» (далее сокр. «Об атомном объеме»), прочитанном 23 августа 1869 г. на II Съезде русских естествоиспытателей в Москве [38, с. 32–49], он, сославшись на публикацию «Опыта» в майском номере ЖРХО (1869, т. 1, вып. 2/3, с. 60–77), далее пользовался двумя таблицами типа (IIb), одна из которых включала переходные металлы.

Многих историков удивляло поведение Менделеева в марте 1869 г. — почему он не воспользовался случаем лично сообщить в РХО о своем открытии, а поручил это сделать Меншуткину? Допустим, тяга к артельным сыроварням оказалась непреодолимой, но можно было выступить по возвращении из Тверской губернии. Менделеев же, вернувшись из поездки 12 марта, 20 марта выступает в ВЭО с докладом... об артельном сыроварении. 10 апреля он вновь выступает публично там же, на этот раз с сообщением о доходности молочного скотоводства и о результатах анализа почв с опытных полей. Создается впечатление, что сельскохозяйственные проблемы волновали его по крайней мере не меньше, чем химические.

Но если вдуматься, ничего удивительного здесь нет. «Опыт» определенно не удовлетворял Дмитрия Ивановича, поскольку был не «естественным», а компромиссным вариантом системы элементов. Не забывал он и о весьма прохладном отношении многих его коллег-химиков к чисто теоретическим и особенно к таксономическим работам*. Поэтому, учитывая все эти обстоятельства, Менделеев не торопился выступать с докладом о своем открытии. Но и медлить с публикацией он не мог, хотя бы потому, что вопросами систематики элементов занимались в то время многие. В этой ситуации Менделеев избрал единственно правильную тактику: поскольку доклад в РХО нужен был ему лишь для публикации статьи в «Журнале» Общества, то его друг Меншуткин, отвечавший за издание «Журнала», представлялся в качестве докладчика наиболее подходящей фигурой.

Теперь — о рассылке листков с «Опытом» «многим ученым». На мой взгляд, рассылка коллегам столь «причудливого» варианта системы, каким был «Опыт», без пространных комментариев о смысле сей таблицы**, могла преследовать лишь одну цель — фиксацию приоритета, что бы там Дмитрий Иванович ни говорил о своем нежелании «поднимать вопросов о научном первенстве», поскольку «эти вопросы не имеют часто никакого ученого интереса» [38, с. 49]. Ученого — да, но был еще интерес человеческий, который заставлял Менделеева — человека, замечу, весьма амбициозного — торопиться забить приоритетный колышек, не дожидаясь, когда через два-три месяца выйдет статья с изложением его открытия. Впрочем, пора вернуться к моей главной теме.

Прежде чем обратиться к поискам Менделеевым решения проблемы места в системе переходных элементов, необходимо остановиться на упомянутом выше его докладе «Об атомном объеме».

«Минуточку, — непременно остановит меня здесь иной разочарованный читатель, — как это доклад об атомных объемах? А где же эпизоды “сон Менделеева” и “раскладка химического пасьянса”?» Я могу только позавидовать тому упорству

* Примером может служить такая история. 24 декабря 1869 г. Менделеев написал Н. Н. Зинину довольно резкое письмо в ответ на замечание последнего «Пора заняться работой». Видимо, Зинин настаивал, чтобы Менделеев начал экспериментальные работы в области органической химии. Однако Дмитрий Иванович от этого предложения категорически отказался и перечислил почти все направления своей научной деятельности начиная с 1856 г., но о ПС не сказал ни слова. Судя по надписи на конверте это письмо не было отправлено адресату (Музей-архив Д. И. Менделеева СПбГУ, I-A-44-1-6).

** Кстати, в примечании к статье «Соотношение свойств» Менделеев совершенно справедливо упрекал У. Одлинга в том, что тот «ничего не говорит о смысле своей таблицы» [38, с. 30].

и нечеловеческой проницательности, с которыми некоторые ученые мужи на страницах академических изданий со знанием дела обсуждают, что же на самом деле приснилось Менделееву. По моему крайнему разумению (воспользуюсь его излюбленным выражением), свои сны Дмитрий Иванович, *по-видимому*, смотрел в одиночку, к рассказам же о сновидениях вообще, а пересказанных другими лицами спустя сорок с лишним лет в особенности, я бы отнесся осторожнее. Здесь уместно вспомнить строки А.А. Блока:

Слишком много есть в каждом из нас
Неизвестных, играющих сил ...

Вот именно — «неизвестных, играющих сил»! И как эти силы (во сне иль наяву) разыграли в менделеевский звездный час, нам, увы, отгадать не дано. Да и так ли это важно? Почему мы «все ставим каверзный ответ и не находим нужного вопроса»? Что же касается «химического пасьянса», то, возможно, на каком-то этапе работы (скажем, при составлении «первой пробы» или таблицы D3) Менделеев действительно использовал этот *технический* прием. Но разве это что-то меняет в нашем понимании (или непонимании) хода его *мысли*? Однако продолжим.

В «Списке» своих сочинений Менделеев, относя этот доклад к числу работ, которые являются «твердыми основаниями» всего учения о периодичности, писал:

Это сообщение считаю очень важным для истории периодической законности. Хотя мне потом многое стало яснее, но удельные объемы простых тел (но не элементов — это очевидно) тогда мне были явственны, а это было гораздо ранее Лотара Мейера (51, с. 93).

По мнению Кедрова,

главным /в этой статье/ <...> является твердое обоснование положения, что атомные объемы простых тел представляют *физическую функцию* периодического характера от атомного веса элементов как аргумента [37, с. 451].

Несколько иные акценты делают авторы «Летописи»:

Изучение зависимости атомного объема от атомного веса, как метод количественной характеристики периодического изменения свойств элементов, позволило выделить во всех группах системы, кроме третьей, главные и побочные подгруппы [16, с. 131].

На мой взгляд, первая оценка является неполной, а вторая — неверной. Как я уже отметил выше, Менделеев в статье «Об атомном объеме» оперировал не с «Опытом», но с короткой формой системы, описанию которой посвящена первая треть статьи. Затем он переходит к обсуждению «зависимости, какая существует между атомными весами и удельными объемами* различных групп элементов» [38, с. 38]. Он, в частности, указывает на следующие обстоятельства:

1°. «... Такие гомологические элементы, как калий, рубидий, цезий или кальций, стронций, барий или фосфор, мышьяк, сурьма и т. п. представляют постепенность в изменении удельных объемов с изменением атомного веса» [38, с. 38], например:

Li	K	Rb	
11,2	44,8	56,1	
Be	Ca	Sr	Ba
4,5	25,5	35,5	?30

* Под удельным (атомным) объемом понималось частное от деления молекулярного (атомного) веса на плотность соединения (простого вещества).

Т. е. «с возрастанием атомного веса возрастает и атомный объем, а также увеличивается и энергия элемента (судя по контексту, речь идет о химической энергии простого тела. — И. Д.). Это последнее объясняется тем значительным различием в расстояниях атомов, которое существует здесь при возрастании атомных весов» [38, с. 39]. Действительно, удельный объем ($V_{уд}$) бария более 30, а $Ba(OH)_2$ около 30, т. е. «водная окись бария <...> имеет меньший объем, чем сам металлический барий», следовательно, «два водяных остатка (т. е. две группы $ОН$. — И. Д.), присоединяясь к барию, не только не раздвинули его атомов, но даже заставили их сблизиться. Значит, нашлось между атомами бария достаточно места для помещения этих элементов» [там же]. Иная картина наблюдается в случае кальция, поскольку $V_{уд}(Ca(OH)_2)=34$, т. е. больше, чем $V_{уд}(Ca_{мет})=25,5$.

2°. «... По горизонтальным строкам, соответствующим Li, K, Rb, Cs — по мере увеличения атомного веса, сперва объем быстро уменьшается, а потом остается почти постоянным» [38, с. 40]. Например:

K	Ca	—	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni
44,8	25,5	—	7,5		7,4	7,0	~7,1		

3°. В горизонтальных строках натрия, меди и серебра атомный объем с возрастанием атомного веса «увеличивается, а не уменьшается или не остается постоянным» [38, с. 41], например:

Ag	Cd	—	Sn	Sb	Te	I
10,3	12,8	—	16,2	18,1	20,7	26.

4°. Для полного длинного горизонтального ряда (от щелочного металла до галогена) наблюдается сначала быстрое уменьшение объемов, затем они почти не меняются, потом начинается их медленное увеличение и, наконец, «чрезвычайно быстрое» нарастание [там же]:

K	Ca	—	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	—	—	As	Se	Br
44,8	25,5	—	7,5		7,4	7,0	~7,1			7,2	9,1			13/16	19,4	27

5°. Что касается строки натрия, то здесь сначала имеет место «уменьшение в объеме, а потом увеличение; но при этом нет надлежащей правильности» [38, с. 42], что «отчасти объясняется тем различием физического состояния, какое существует для элементов, находящихся в этом ряду, и какого нельзя предполагать для элементов, находящихся в двух предыдущих рядах (т. е. в рядах Cu и Ag. — И. Д.), по крайней мере в столь значительной мере, как здесь» [38, с. 43]. Менделеев имеет в виду различное количество атомов в молекулах простых тел, отвечающих элементам ряда натрия:

элемент	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl
состав молекул	Na	Mg	?	Si ₂	P ₂₄	S ₂₆	Cl ₂

Таким образом, в строке натрия — хлора сгруппировались элементы, весьма различные по числу атомов, заключающихся в их частице; оттого не мудрено, что мы здесь замечаем отсутствие той стройности, которая свойственна другим <...> рядам [38, с. 43].

Обобщая сделанные наблюдения, Менделеев приходит к выводу:

Рассматривая <...> ряды элементов по вертикальным рядам, заметим следующую особенность <...>. Там (т. е. в ряду Li — K — Rb — Cs и в других «сходных» рядах. — И. Д.) мы видели возрастание и удельного веса, и атомного

объема, соединенное с увеличением атомного веса и химической энергии; здесь (т. е. в рядах Na — Cu — Ag; Mg — Zn — Cd и т. д. — И. Д.) замечается как бы обратное: натрий, медь и серебро при увеличении атомного веса представляют уменьшение в химической энергии, так же, как и при переходе от магния к цинку и кадмию [38, с. 43–44].

При этом в столбцах Na — Cu — Ag; Mg — Zn — Cd; P — As — Sb ход изменения атомных объемов имеет V-образный характер ($V_{уд}(\text{Na})=23,7$; $V_{уд}(\text{Cu})=7,2$; $V_{уд}(\text{Ag})=10,3$ и т. д.).

Из сказанного явственно, — продолжает Менделеев, — что существует некоторая правильность в изменении удельных весов и атомных объемов в рядах элементов, распределенных в общую систему по величине атомных весов. Но эта правильность нарушается теми изменениями в физической и химической природе элементов, от которых зависит количество их атомов, входящих в частицу, и качество атомов или способность их вступать в химические соединения [38, с. 44].

В этих словах проявилась глубина понимания Менделеевым ПЗ и ПС как полифонического единства самых разных физико-химических закономерностей. Такого понимания сложной игры разнообразных факторов и тенденций не было ни у одного из его «precursors and cocursors».

Возвращаясь к теме этого раздела, отмечу, что изучение Менделеевым характера изменений величин атомных объемов по вертикальным и горизонтальным рядам системы, представленной в короткой форме, натолкнуло его на мысль о целесообразности разделения горизонтальных рядов на четные и нечетные.

Если мы обратим для начала внимание на первый (вертикальный. — И. Д.) ряд элементов, — писал Дмитрий Иванович, — куда относятся щелочные металлы, медь и серебро, то найдем следующие числа: Li=11,8; Na=23,7; K=44,8; Cu=7,2; Rb=56,1; Ag=10,3;... Tl=17,2, т. е. на вид не увидим никакой правильности в изменениях объемов атомов. Но, обращая внимание на ближайшее сходство, существующее между литием, калием, рубидием и цезием, с одной стороны, и натрием, медью и серебром — с другой, мы увидим уже некоторую правильность, в первом ряду (Li=11,8; K=44,8; Rb=56,1. — И. Д.) несомненную, а во втором (Na=23,7; Cu=7,2; Ag=10,3; Tl=17,2. — И. Д.), по-видимому, состоящую в том, что медь имеет наименьший объем; для элементов, стоящих ниже и выше ее, объем атома больше, чем для меди [38, с. 44].

Хотя в обсуждаемой статье Менделеев еще не употребляет терминов «четные или нечетные строки или ряды»*, фактически он уже пользуется соответствующи-

* Впервые такую терминологию он использовал в статье «О месте церия в системе элементов» [38, с. 59–67] (далее сокр. «О месте церия»), представленной Физико-математическому отделению Петербургской академии наук академиком Н. Н. Зининым и адъюнктом А. М. Бутлеровым на заседании 24 ноября 1870 г. и опубликованной на немецком языке в «Бюллетенях» Академии [52]. «Наибольшее сходство свойств, — писал Менделеев, — замечается между четными членами этой группы [в нечетных членах замечается большее, но всегда последовательное изменение свойств]» [38, с. 65] (в квадратных скобках добавлен текст, имеющийся в русском оригинале статьи (Музей-архив Д. И. Менделеева СПбГУ, П-А-17-7-13), но отсутствующий в немецком переводе). В таблице «Система элементов», включенной в текст статьи [52] и являющейся прообразом «Естественной системы химических элементов» (1870), горизонтальный ряд Li — F выделен отдельно и назван «типическим» (в черновом варианте таблицы — нулевым) [38, с. 63]; нумерация горизонтальных рядов начинается с ряда Na — Cl, которому присвоен номер 1.

ми понятиями. Однако следует подчеркнуть, что менделеевское деление элементов на четно- и нечетнорядные, вообще говоря, не совпадает с их делением на элементы главных и дополнительных подгрупп*. К примеру, в числе четнорядных оказались следующие совокупности элементов:

Ряд 2:	K	Ca	Ti	V	Cr	Mn	
Ряд 4:	Rb	Sr	Zr	Nb	Mo	—	
Ряд 6:	Cs	Ba	—	—	—	—	
Ряд 8:	—	—	—	Ta	W	—	и т. д. [38, с. 66–67].

Введение наряду с подразделением элементов на разряды еще нового их разбиения на четно- и нечетнорядные стало важной вехой в развитии учения о периодичности, поскольку указывало на существование в каждой группе (в каждом вертикальном столбце) двух подмножеств** с разными физико-химическими свойствами и с разным характером изменения некоторых «измеримых» свойств (например, атомных объемов). Поначалу Менделеев уловил указанное различие, изучая атомные объемы, но затем, осенью 1870 г., распространил его на широкий круг свойств.

...Два соседних ряда элементов, расположенных в четных и нечетных строках, — писал он в статье «Естественная система элементов и применение ее к указанию свойств неоткрытых элементов» (далее сокр. «Естественная система»***, — должны представлять собою некоторое характерное различие, и это заключение действительно подтверждается разительным образом во всей совокупности свойств элементов, принадлежащих к четным и нечетным строкам или рядам. Элементы четных рядов образуют наиболее энергичские основания и притом основная способность для них возрастает в данной группе по мере увеличения величины атомного веса. <...> Эти металлы четных рядов характеризуется еще и тем, что для них не известно ни одного металлоорганического соединения, а также ни одного водородистого соединения, тогда как металлоорганические соединения известны почти для всех элементов, расположенных в нечетных рядах****. <...> Такое, на первый взгляд кажущееся странным, различие элементов четных и нечетных рядов основывается <...> на следующем простом соображении: элементы нечетных рядов относительно ближайших элементов той же группы, но принадлежащих к четным рядам, оказываются более кислотными, если можно так выразиться, а именно, натрий и

* В более ясной форме деление групп на подгруппы, близкое к современному, было предложено Л. Майером (1870) [47]. Однако Менделеев до конца жизни придерживался разделения элементов данной группы на четно- и нечетнорядные [38, с. 368], поскольку придавал такому разделению глубокий химический смысл (о чем см. далее).

** По указанным выше причинам я не употребляю здесь термин «подгруппа».

*** Статья датирована 29 ноября 1870 г. Менделеев работал над ней одновременно со статьей «О месте церия». Обе работы построены на материалах, вошедших в неопубликованную статью «К системе элементов» [53, с. 223–227].

**** В настоящее время известно множество металлоорганических соединений Ti, Zr, Cr, Mn и других четнорядных элементов, в частности их циклопентадиенильные комплексы, хотя для нечетнорядных элементов металлоорганические соединения с σ -связью Me — C действительно более характерны. Что касается гидридов, то к началу XX в. они были получены для большинства элементов, в том числе и металлов.

магний образуют основания менее энергические, чем калий и кальций; серебро и кадмий дают основания и подавно еще менее энергические, чем цезий и барий. В элементах нечетных рядов основные способности различаются гораздо менее при возрастании атомного веса, чем в элементах четных рядов. <...> В элементах четных рядов способность раскисляться, по-видимому, гораздо меньше развита, даже для высших членов данной группы, чем для элементов нечетных рядов, и кажется, что в этом отношении здесь замечается обратный порядок, т. е. элементы с высоким атомным весом образуют высшие степени окисления более прочные, чем те, которые образуются элементами, стоящими в той же группе, но имеющими меньший атомный вес [38, с. 78–81].

Таким образом, распределение элементов, представленное в короткой форме системы, выявляло сложную полифонию (или «контрапункт», по удачному выражению проф. С. А. Щукарева) отдельных частных закономерностей. Вместе с тем указанные Менделеевым различия элементов четных и нечетных рядов вовсе не давали оснований для разделения системы на две обособленные части, наоборот, сам факт чередования в группе элементов двух типов — четно- и нечетнорядных — свидетельствовал в пользу короткой формы системы по сравнению с «Опытом», где «характерное различие» этих типов элементов оставалось невыявленным. Поэтому вопрос о критериях объединения в одну группу элементов разных разрядов (или, что во многих случаях то же самое, четно- и нечетнорядных элементов) приобретал особую остроту.

Кислородная грань

При внимательном чтении статей «Соотношение свойств» и «Об атомном объеме» возникает вопрос: если Менделеев знал, что, к примеру, «марганец представляет с <...> /галогенами/ такое же сходство в высшей степени своего окисления, как хром с серою» [38, с. 34] и что «титан относится к кремнию и олову <...> совершенно точно так, как ванадий к фосфору и сурьме» [38, с. 26] и т. д., — причем знал он это задолго до начала работы над «Опытом», — то зачем, спрашивается, ему нужно было уходить от «первой пробы», чтобы в итоге прийти к «Опыту» с его «причудливым расположением элементов»? Ведь «первая проба» и аналогичные таблицы представляли собой прообраз «естественной системы». Так почему уже самого факта, что в высших степенях окисления марганец и хром сходны соответственно с хлором и серой, Менделееву оказалось недостаточно для представления короткой формы системы (где в одних столбцах стояли бы галогены и марганец, халькогены и хром с молибденом и вольфрамом, пниктогены и ванадий с ниобием и танталом и т. д.) в качестве основного способа графического выражения *ПС*? Какого еще более глубокого понимания или знания не хватало Менделееву, чтобы создать систему, которую он бы мог со спокойной совестью назвать *естественной*?

Эти вопросы тем более закономерны, что в докладе «О количестве кислорода в соляных окислах и об атомности элементов»^{*} Менделеев отстаивал две позиции:

1°. Всякий элемент способен дать все возможные формы окисления, если бы находился в подходящих для этого условиях, но только известные формы его окислов обладают постоянством, а потому вопрос об окислах

^{*} Сообщение, сделанное Менделеевым 2 октября 1869 г. на заседании РХО (ЖРХО. 1870. Т. 2. Вып. 1. С. 14–21; см. также [38, с. 50–58]). (Далее сокр. «О количестве кислорода»).

сводится к вопросу о прочности известных химических соединений. Нельзя избрать лучшего признака для определения относительной степени прочности окислов, как способность их образовывать соляные соединения [38, с. 51];

2°. Между этими (т. е. солеобразующими. — И. Д.) окислами достаточно указать обобщение для высших степеней окисления, потому что низшие окислы будут представлять неопредельные соединения, соответствующие высшим степеням, составляющим предел для соляных окислов. <...> Мы имеем в виду только 7 предельных форм соляных окислов. Эти формы для параллелизма сравнения могут быть выражены так:



Этому ряду окислов как раз соответствуют те 7 рядов простых тел, в которые естественнее всего распределяется большинство элементов, группируемых по сходству свойств и по определенной периодичности в величине их атомного веса (номер у приведенного ряда формул проставлен мною. — И. Д.) [38, с. 52].

И далее Менделеев приводит... «короткую» форму системы элементов, где из переходных металлов указаны лишь Ag, Zn, Cd и «?Zr = 90». Причем пояснительный текст составлен так, что у читателя может сложиться впечатление, будто и весной 1869 г. Менделеев предложил именно такую форму системы и никакую иную*.

Что мешало ему в первых же статьях о ПЗ предложить в качестве основного варианта «распределения элементов» таблицу, аналогичную той, которую он представлял спустя год и девять месяцев в статьях ноября 1870 г. (рис. 10)?

Можно, конечно, в поисках ответа на этот вопрос сослаться на проблему VIII группы, т. е. на проблему «зависания» триад Fe, Co, Ni; Ru, Rh, Pd и Os, Ir, Pt. Но, судя по тексту статьи «Естественная система» [38, с. 77–78], «естественность VIII группы» стала ясна Менделееву только после того, как им, во-первых, была решена проблема размещения среди элементов остова системы известных (и еще не известных) элементов ряда: ?, Ti, V, Cr, Mn (а также двух других аналогичных рядов переходных металлов) и когда, во-вторых, им была вполне осознана специфика четных и нечетных рядов в короткой форме таблицы. Только тогда Дмитрий Иванович заговорил о том, что, кроме той периодичности, на которую он обратил внимание в своей первой статье о ПЗ, «существует еще периодичность другого рода: после каждых двух периодов или строк встречается ряд элементов, которые отнесены к VIII-ой группе» [38, с. 75–77]. И только тогда из всей имевшейся в его распоряжении информации по физическим и химическим свойствам элементов указанных триад он отобрал ту, которая говорила в пользу «естественности VIII-ой группы» [38, с. 78]. До того он акцентировал внимание на сходстве Fe, Co и Ni с Cr и Mn, называя все эти пять элементов «группой (или рядом) железа» [38, с. 57].

В итоге мы вновь возвращаемся к вопросу: почему Менделеев не решился уже в своей первой статье о ПЗ объединить элементы двух разрядов? Какие ему для этого еще были нужны аргументы?

Ответ на все эти вопросы дает, как мне представляется, заключительная (восьмая) глава третьего выпуска «Основ», которая, кстати, имеет характерный заголовок: «Аналоги железа: кобальт, никель, марганец, хром (и уран)» [36, с. 299]. Пе-

* Совершенно аналогичный прием Менделеев использовал и в докладе «Об атомном объеме».

[34]	Группа I	Группа II	Группа III	Группа IV	Группа V	Группа VI	Группа VII	Группа VIII. Переход и группа I
Типичные элементы	H = 1. Li = 7	Be = 9,4	B = 11	C = 12	N = 14	O = 16	F = 19	
Первый период	Ряд 1-й Na = 23	Mg = 24	Al = 27,3	Si = 28	P = 31	S = 32	Cl = 35,5	
	— 2-й K = 39	Ca = 40	— 44	Ti = 50?	V = 51	Cr = 52	Mn = 55	Fe = 56, Co = 59, Ni = 59, Cu = 63
Второй период	— 3-й (Cu = 63)	Zn = 65	— 68	— 72	As = 75	Se = 78	Br = 80	
	— 4-й Rb = 85	Sr = 87	(? Yt = 88?)	Zr = 90	Nb = 94	Mo = 96	— 100	Ru = 104, Rh = 104, Pd = 104, Ag = 108
Третий период	— 5-й (Ag = 108)	Cd = 112	In = 113	Sn = 118	Sb = 122	Te = 128?	I = 127	
	— 6-й Cs = 133	Ba = 137	— 137	Ce = 138?	—	—	—	
Четвертый период	— 7-й —	—	—	—	—	—	—	
	— 8-й —	—	—	—	Ta = 182	W = 184	—	Os = 199?, Ir = 198? Pt = 197?, Au = 197
Пятый период	— 9-й (Au = 197)	Hg = 200	Tl = 204	Pb = 207	Bi = 208	—	—	
	— 10-й —	—	—	Th = 232	—	U = 240	—	
Высшая соли- дан окись	R ² O	R ² O ² или RO	R ² O ³	R ² O ⁴ или RO ²	R ² O ⁵	R ² O ⁶ или RO ³	R ² O ⁷	R ² O ⁸ или RO ⁴
Высшее водо- родное соеди- нение			(RH ²)	RH ⁴	RH ³	RH ²	RH	—

Рис. 10. Таблица из статьи Д. И. Менделеева «Естественная система»

реходя к описанию химии марганца, Менделеев отмечает, что этот элемент «образует несколько степеней окисления <...>, но ни одна из встречающихся в природе <...> не дает соответственных прочных солей, и все окислы марганца, обработанные кислотами, дают соли, соответствующие низшей ступени окисления <...>, MnO» [36, с. 320]. В частности, высшие окислы марганца — MnO³ и Mn²O⁷ «не имеют основного характера, а в присутствии кислот действуют как окислительные вещества, отделяя кислород и превращаясь в соли низшей степени окисления марганца» [36, с. 321], что следует «тому общему представлению о влиянии кислорода на характер окислов, которое выносится из сравнения различных кислородных соединений: высшие степени окисления суть кислоты» [36, с. 327]. После этих замечаний Менделеев обращается к сравнению перманганатов и перхлоратов: «марганцовым солям, например, <...> KMnO⁴, <...> свойствен характер, чрезвычайно близкий к характеру хлорной кислоты и ее солей, с которыми они имеют одинаковый атомный состав, например KClO⁴, и представляют изоморфизм, как то доказали измерения Митчерлиха. Сходство проявляется не только в том, что соответственные соли имеют одинаковую кристаллическую форму, но также в том, что все почти соли марганцовой кислоты растворимы в воде, как и соли хлорной кислоты, а серебряные соли обеих кислот мало растворяются в воде. Даже удельный вес и объем соответственных солей марганцовой и хлорной кислот весьма близки между собой <...>. Обе кислоты <...> сами летучи, хотя и содержат много кислорода, почему обе сильно окисляют. Замечательно еще и то обстоятельство, что для марганца, как и для хлора и иода, высшая кислота постояннее низшей — столь велик параллелизм этих соединений» [36, с. 328].

И далее следует набранный петитом текст, начало которого, на мой взгляд, имеет принципиальное значение для понимания истории создания «Естественной системы». Вот этот фрагмент:

Это сличение (KMnO_4 с KClO_4 . — *И. Д.*) ясно показывает, что физический и химический характер соединений определяется преимущественно числом и, если можно так выразиться, состоянием* элементов в соединениях, а не качеством элементов в отдельности, потому что марганец по своему характеру в отдельности представляет вполне металл <...>. Резкий металл в низших степенях окисления, марганец сделался бы металлоидом в высших степенях окисления [36, с. 328–329].

В этих рассуждениях Менделеев отстаивает мысль прямо противоположную той, которая была сформулирована им во втором выпуске «Основ»:

...по-видимому, присоединение кислорода имеет <...> свой предел; его удаётся прибавлять только до известной меры; так, к сернистому водороду больше четырех паев кислорода не удастся прибавить, к хлористому водороду также, к фосфористому водороду также. <...>. Должно быть, в самих свойствах кислорода лежит причина такой особенности; четыре атома кислорода, по-видимому, обладают свойством образовывать нечто целое, которое удерживает два или несколько атомов различных других веществ, например, хлора и водорода, водорода и серы, натрия и марганца, фосфора и металлов и т. п., образуя сравнительно прочные соединения NaClO^4 , Na^2SO^4 , NaMnO^4 , Na^3PO^4 , N^2O^4 , Cl^2O^4 и т. п. [35, с. 734].

Сравнение приведенных выше высказываний Менделеева из предпоследней главы второго и последней главы третьего выпусков «Основ» показывает, что к концу 1869 или к началу 1870 г. ** он понял, что предельные (высшие) формы кислородных соединений и их свойства определяются не «самими свойствами кислорода» и наличием «границ O^4 » [38, с. 246], т. е. особо устойчивой группировки из четырех кислородных атомов, но «состоянием», т. е., в конечном счете, природой элемента, находящегося в его высших кислородных соединениях.

Ревностные последователи учения об атомности элементов, — писал Менделеев осенью 1870 г., — конечно, ссылаются <...> на тот факт, что копи-

* Не употребляю здесь слово «строение», потому что оно уже имеет определенный смысл. Под этим словом подразумевают, если можно так выразиться, известное статическое состояние атомов, проявляющееся и в реакциях, т. е. известное положение друг к другу атомов в частице. Под словами «состояние элементов» я желаю выразить совокупность условий, в каких находится атом, т. е. и его положение в отношении к другим, и его род движения <...>. В частном примере KClO^4 и KMnO^4 должно представить не только соединениями, в которых отношение и положение хлора и марганца к кислороду и калию одинаковы, но и формы движений соответственных атомов в частице одинаковы, хотя в других случаях между марганцовыми и хлорными соединениями нет этого сходства. Вот факт, уясняющий, по моему мнению, эти сложные отношения; объем атома хлора (27) гораздо более, чем марганца (≈ 7 <...>), а между тем объем хлорнокалиевой соли (т. е. KClO_4 . — *И. Д.*) (54,6) меньше, чем марганцовокалиевой соли (т. е. KMnO_4 . — *И. Д.*) (58,3). Значит, свободный марганец и свободный хлор иначе относятся к названным солям — отдельные простые тела весьма различны, а их соединения аналогичны. <...> При образовании хлорнокалиевой соли произошло общее значительное сжатие <...>. В то же время атомы каждого отдельного элемента раздвинулись <...>, пришли в напряженное состояние, образовав эту непостоянную соль. Раздвигание атомов марганца, когда он дал марганцовокалиевую соль, еще больше, а сжатие, происшедшее со всей массой элементов, здесь меньше, чем в предшествующем примере. Оттого-то неодинаковые, неаналогические элементы могли дать сходные соединения. Раздвинутые друг от друга атомы могли уподобиться по своему влиянию атомам хлора. — *Примеч. Д. И. Менделеева.*

** Третий выпуск вышел в свет в первых числах марта 1870 г. [16, с. 113].

чество кислорода не подлежит какой-либо строгой законности; кислород <...> может, говорят они, так сказать, образовать HClO_4 потому только, что кислород двуатомен и, так сказать, втиснут между хлором и водородом. Но если бы присоединение кислорода действительно не определялось основными свойствами тех элементов, с которыми он соединяется, а только способностью кислорода по его двуатомности входить во всякое соединение, то нельзя было бы заметить никакой стройности в образовании окисленных соединений элементов (речь идет о закономерностях, указанных в цитированных выше фрагментах статьи «О количестве кислорода». — И. Д.), а между тем, как видно из таблицы, выражающей естественную систему элементов, такая правильность в присоединении количества кислорода совершенно согласуется с правильностью в присоединении водорода, а потому нет никакого права отдавать предпочтение водородным соединениям пред кислородными, и если по водороду хлор одноатомен, то по кислороду он семиатомен (38, с. 85).

Это означало, что KClO_4 и KMnO_4 сходны не потому, что в них «втиснуто» так много кислорода, что он как бы «забывает» свойства остальных элементов, не давая им проявиться, а потому, что под влиянием четырех кислородных атомов хлор и марганец переходят в иные состояния, в иной «род движения» [36, с. 329] и сама эта способность хлора и марганца переходить в сходные состояния («уподобиться по своему влиянию» друг другу) является одним из их характерных свойств, входит в спектр их возможных состояний. В приведенных выше рассуждениях Менделеева можно видеть раскрытие эвристического потенциала двух «отвлеченных» понятий, которыми он активно пользовался, а именно: понятий «химического элемента» и «химической энергии». Каждый элемент в менделеевском понимании — это, среди прочего, носитель определенной, только ему одному присущей совокупности энергетических состояний («степеней напряжения силы сродства» [35, с. 289]), которая и определяет в конечном счете его индивидуальность.

Таким образом, рассуждая фактически о структурных вопросах в неструктурных терминах, описывая разнообразие валентных возможностей элементов, критикуя при этом саму концепцию валентности (атомности), используя искусственное понятие атомного объема, отказываясь от традиционных таксономических методов и приемов, Менделеев, идя сложным и противоречивым путем, сумел-таки прийти к естественной системе элементов, которая не только позволяла объяснить уже известное, но и обладала мощным прогностическим потенциалом. Но это уже другая тема.

Только после осознания указанных выше обстоятельств, что произошло, по-видимому, в период написания восьмой главы «Основ» (или, по крайней мере, совпало по времени с ее написанием), Менделеев вносит в план еще не написанных четвертого и пятого выпусков (изданных впоследствии вместе, под одной обложкой) существенные изменения по сравнению с планом начала 1869 г. (рис. 3). Он, в частности, переносит изложение химии ртути, свинца и таллия в конец учебника (глава 22 — «Ртуть», глава 23, последняя — «Таллий, свинец и висмут»), а после глав 9–11, посвященных сере и ее соединениям с водородом, металлами, кислородом, углеродом, хлором и азотом, следуют главы, построенные по следующей схеме:

элемент первого ряда + его четно- и нечетнорядные аналоги, например: сера (гл. 9–11) + Se, Te, Mo, W (гл. 12)*; фосфор (гл. 13) + As, Sb, V, Nb, Ta (гл. 14); кремний (гл. 17) + Sn, Ti, Zr, Th (гл. 18).

* Химия хрома была уже рассмотрена в гл. 8, когда Менделеев еще работал «в режиме» «Опыта», а не короткой формы.

Далее следует изложение химии платиновых металлов и золота (гл. 19–21), как это и намечалось планом 1869 г. Кроме того, Менделеев включает в выпуск 4/5 главу 15, посвященную бору (все остальные типические элементы были им описаны в предыдущих выпусках), и главу 16, посвященную алюминию. С истинными аналогами этих элементов еще не было полной ясности.

Вопрос о месте в системе Tl, Pb и Bi к моменту окончания работы над «Основами» был для Менделеева окончательно решен, о чем он ясно сказал в начале главы 23:

... помещение таллия, свинца и висмута в I, II и III группы, судя по низшим их степеням окисления, не может быть, однако, допущено, потому <...> что все эти три элемента дают и высшие формы окисления, а как мы видели уже много раз, определение основных свойств элементов лучше всего производится по высшей, а не по низшей форме окисления. <...> В высших степенях окисления <...> мы видим аналогию между Al — Tl, Si — Pb, P — Bi (36, с. 874).

Во второе издание «Основ» (1872–1873) Менделеев вносит некоторые структурные изменения: In описывается вместе с Al (гл. 16), глава 12 называется уже не «Аналоги серы: селен и теллур, молибден и вольфрам», но «Аналоги серы и хрома: селен и теллур, молибден, вольфрам и уран». Цериты и гадолиниты перенесены из главы 5, посвященной Zn и Cd, в главу 18, в которой описываются олово, титан, цирконий и торий. Но тематика последних глав осталась прежней. И лишь в третьем издании «Основ» не только появилась отдельная глава, посвященная *ЛЗ* и *ПС*, но и вся структура изложения в гораздо большей мере подчинена структуре короткой формы системы, чем в других изданиях*. Но полного соответствия между структурами «Естественной системы» и «Основ» нет даже в их последнем прижизненном издании 1906 г.

Заключение. Триумф и трагедия

Подведем итоги. Еще до того, как Менделеев в самом начале 1869 или в конце 1868 г. приступил к поискам рациональной систематики элементов, он в лекциях и в первых двух выпусках «Основ» широко использовал ряд положений, концепций и гипотез, которые затем помогли ему в создании *ПС*. Прежде всего в этой связи следует отметить некоторые методологические принципы русского ученого. Уже в своей студенческой (кандидатской) диссертации (1855), анализируя многообразные случаи изоморфизма простых и сложных тел, он писал:

здесь, как и везде при изучении явлений природы, между отрицанием и утверждением одного признака существует множество переходов, границы которых часто бывают произвольны и искусственны. Только истинные таланты, обладающие естественнанаучным тактом, умеют провести и здесь предельную черту, соображая общность предпочтительно перед частностью, перед известным одним признаком (54, с. 27).

О том же он писал два года спустя, рецензируя учебник органической химии А. Штреккера [55]:

Один из важных недостатков /этого/ учебника <...> есть резкость положений и законов, не свойственная естественным наукам. Только в науках чис-

* Правда, химия Mn излагается отдельно от химии галогенов, а химия Cu и Ag — отдельно от щелочных металлов, тогда как описание Au и его соединений выделено в особую главу, завершающую третье издание «Основ».

то отвлеченных — в логике и математике — возможны и существуют неизменные законы, формулы полной точности. С того времени, как введением естественной системы (вместо искусственной) значительно подвинули вперед все науки о природе, стало понятным, что логически простое деление вовсе не согласно с природою, где ни в чем нет резких границ. <...> Штреккер главным образом занимается описанием отличия и признаков тел, и <...> не старается показать сходства, постепенности [56, с. 154].

Подобные высказывания весьма характерны для Менделеева. Обращаясь к различным объектам и явлениям, как природным, так и социальным, он всегда пытался выявить «посредствующие», переходные формы. Социологическим коррелятом идеи отсутствия в Универсуме резких границ стала для него концепция эволюционного развития общества*.

Подчеркивая отсутствие в природе «резких границ», Менделеев вместе с тем обращал внимание на существование в ней некоторых *предельных* форм, объектов и ситуаций. Так, например, он рассматривал газ как предельное состояние вещества [35, с. 53, 244], реакции между телами, наделенными большой силой химического сродства (например, между натрием и хлором) как предельные химические явления [35, с. 94–95], определенные химические соединения как «предел для неопределенных» [35, с. 177], кристаллы в форме куба, октаэдра, ромбического додекаэдра как «предельные кристаллические формы» [54, с. 16], а мировой эфир как «самую предельную форму вещества» [58, с. 227]. Он отмечал также, что каждому элементу свойствен «свой предел и своя атомность» [35, с. 672], в органической же химии важнейшую роль играет, по мысли Менделеева, понятие о «пределе C^nX^{2n+2} рядов органических тел» [38, с. 672]. Наконец, классифицируя законы природы, Менделеев выделяет «крупные» или «общие» законы, которые он рассматривает «как пределы, к коим стремятся приблизиться истинные детальные законы» [36, с. 198].

Эти принципы «предела» и «постепенности» Менделеев широко использовал при написании «Основ» и в работе над *ПС*. Уже в первом выпуске своего учебника он указывает на существование «некоторых крайних членов ряда» оксидов и «промежуточных оксидов» [35, с. 270], развивая далее эту мысль в начале третьего выпуска. В итоге он, как было показано выше, пришел к некой идеальной модели системы элементов (см. (I)).

Другое обстоятельство, также способствовавшее открытию *ПЗ*, связано с использованием Менделеевым «отвлеченного понятия об элементе» [36, с. 906] и с разграничением понятий «элемент» и «простое тело». Таким образом, приступая к решению таксономической проблемы, он ясно понимал, что объектами классификации должны быть не простые тела, но химические *элементы*, и «главный интерес химии — в изучении основных качеств элементов» [там же]. Среди таких качеств центральное место занимал атомный вес, ибо от него в первую очередь зависела химическая энергия атома, а следовательно, и свойства элемента. В итоге к началу работы над «Опытом» у Менделеева сложилась определенная концептуальная система, включавшая:

— абстрактное понятие о химическом элементе и атомном весе как его коренном свойстве, определяющем химическую энергию, а потому и свойства данного элемента;

* Эта концепция — одна из излюбленных у Дмитрия Ивановича, особенно в зрелые годы. В «Заветных мыслях» он возвращается к ней постоянно. Вот одно из типичных высказываний на эту тему: «Идеалисты и материалисты видят возможность перемен лишь в революциях, а реализм признает, что действительные перемены совершаются только постепенно — путем эволюционным» [57, с. 5], т. е. через множество переходных состояний.

— идеальную модель будущей классификации элементов, построенной из блоков типа (I);

— осознание того обстоятельства, что «свойства простых и сложных тел составляют результат свойств элементов, их образующих» [38, с. 321].

Ни валентность (атомность), ни изоморфизм*, ни удельные объемы, ни степень металличности простых тел не служили для Менделеева «опорой системы» [38, с. 18], т. е. базисными критериями и признаками при решении таксономической проблемы.

Как показано выше, «первой пробой» или, по крайней мере, одной из первых приемлемых «проб» системы элементов стала таблица типа (IIb), т. е. прообраз короткой формы. Именно на этапе создания «первой пробы» (скорее всего в начале 1869 г.) Менделеев обнаружил периодический характер изменения свойств элементов от их атомных весов. Однако разнохарактерность периодов (их отличия как по числу входящих в них элементов, так и по темпу изменения свойств последних, а также по другим признакам) заставила его отказаться от сформированного идеала системы и искать такую форму ее графического представления, которая бы, выражая (пусть даже не столь наглядно, как в таблице типа (IIb)) периодичность свойств элементов, в то же время достаточно ясно демонстрировала различия между элементами разных разрядов. Тем самым «Опыт», созданный 17 февраля 1869 г., стал своего рода компромиссным вариантом системы в условиях, когда физическая (точнее, физико-химическая) часть таксономической задачи — открытие периодического характера зависимости свойств (химической энергии) элементов от их атомных весов — оказалась куда более продвинутой, нежели ее химическая часть — определение критериев объединения в одну группу неполных аналогов, т. е. элементов разных разрядов (проблема, частью которой был вопрос о месте в системе «триад» железа, палладия и платины)**.

Решение химической части проблемы создания рациональной системы элементов шло, в основном, двумя путями:

* Л. Майер в статье [47] обратил внимание на отсутствие в выводах Менделеева упоминания об изоморфизме. «Я хотел бы, — писал Майер, — к тем замечаниям, которые Менделеев сделал к своей таблице (т. е. к «Опыту». — И. Д.) добавить еще одно: элементы, стоящие в вертикальных столбцах IV, VI и VIII часто связаны с ближайшими предшествующими элементами горизонтального ряда посредством изоморфизма, скажем, Ti и Zr с Si, V с P, Cr и Mo с S, Mn с Cl, Ag с Na, Zn с Mg и т. д.» [47, с. 357–358].

** Оригинальную трактовку событий, связанных с созданием «Опыта», дал Л. Грэхем: «Менделеев в тот день работал очень быстро, подгоняемый необходимостью отправиться в инспекционную поездку по сыроварням по просьбе Вольного экономического общества. Эта спешка могла быть одной из причин того, что он оставил в таблице пустые клетки и вынес некоторые особенно трудные для классификации элементы целиком за пределы таблицы. Это поспешное решение впоследствии оказалось просто блестящим, ибо некоторые из таких элементов, будучи переходными металлами, входили в «длинные периоды», так что попытки втиснуть их в таблицу с «короткими периодами» нарушили бы систему. Перепишав таблицу начисто, Менделеев отправил ее в набор. Как только он убедился, что с печатанием таблицы все в порядке, он выехал в столь долго откладываемую инспекционную поездку и поэтому был вынужден попросить коллегу прочитать за него доклад на заседании Русского химического общества» [23, с. 60]. Во-первых, в «Опыте» нет никаких «клеток», это бескоординатный вариант ПС. Во-вторых, непонятно, какие именно «трудные для классификации элементы» Менделеев вынес «целиком за пределы таблицы». В-третьих, решение Менделеева, как показано в этой статье, не было ни «поспешным», ни «блестящим». В-четвертых, убедившись, что «с печатанием таблицы все в порядке», он начал (или продолжил) работу над статьей «Соотношение свойств» и на сыроварню уехал только после ее завершения (1 марта 1869 г.), иначе Н. А. Меншуткину нечего было бы докладывать в РХО.

— разделение элементов на четно-нечетнорядные (сначала по характеру изменения величин атомных объемов (лето 1869 г.), а затем и по химическим свойствам), что привело Менделеева к концепции «периодичности другого рода», выражавшейся в чередовании коротких (нечетных) и длинных (четных) рядов*;

— установление соответствия между «7 предельными формами соляных окислов» (см. (IV)) и «7 рядами простых тел, в которые естественнее всего распределяется большинство элементов, группируемых по сходству свойств» [38, с. 52]**, что означало констатацию еще одного коренного свойства элемента — его способность давать *определенную высшую* «форму окисления» (R_2O_n , $n=1÷8$) в зависимости от места, занимаемого этим элементом в системе.

В итоге к ноябрю 1870 г. Менделеев пришел к выводу, что высшие «формы окисления» и их свойства определяются в первую очередь коренными свойствами «тех элементов, с которыми он (кислород. — И. Д.) соединяется» [38, с. 85] и *состояния двух разноразрядных элементов одной группы*, т. е. элементов, не сходных в форме простых тел и в низших (точнее, невысших) степенях окисления, *в высших (предельных) степенях окисления* («в высших формах») *оказываются подобными*. Иными словами, «естественное распределение элементов по группам на основании величины их атомного веса отвечает тому количеству кислорода, которое могут удерживать эти элементы в высших степенях своих соляных окислов» [38, с. 57]. Причем устойчивость («прочность») высших форм соединений элемента при этом может быть различной. Логика системы, т. е. логика отношений, заставила Менделеева отказаться от мысли о таксономической «ущербности» непрочных соединений, поскольку в рамках этой логики важно не то, что, скажем, Bi_2O_5 крайне нестабилен (если вообще существует), но то, как *изменяется* устойчивость высших солеобразующих оксидов (и их гидратных форм) в ряду N_2O_5 , P_2O_5 , ..., Bi_2O_5 .

Тем самым главная проблема построения естественной системы — объединение элементов разных разрядов — к ноябрю 1870 г. была решена. Это, разумеется, не означает, что серьезных проблем в ПС не осталось вовсе (достаточно указать на проблему положения в ней редкоземельных элементов)***, но главное было сде-

* При этом Менделеев в статье «Естественная система» использует понятие «период» [38, с. 77], однако периоды у него поначалу [38, с. 76; 51, табл. между с. 8 и 9] были весьма своеобразными. Скажем, первый период включал в себя ряд I (Na — ... — Cl) и ряд 2 (K — ... — Cu). (Медь занимала в этих таблицах сразу два места — в восьмой группе, примыкая к триаде Fe-Co-Ni и в первой — чем подчеркивался ее переходный характер.) Эти странные периоды с двумя щелочными металлами и одним галогеном стали постепенно исчезать из «Основ» только начиная с четвертого издания (1881). Но в тексте своего учебника и в статьях Менделеев описывал периоды совсем иначе, каждый из них начинался щелочным металлом и заканчивался галогеном. Странное разночтение.

** Впоследствии, в 1871 г., Менделеев добавил еще восьмую «форму окисления» — RO^4 (R^2O^8) и дал указанному соответствию более обобщенную формулировку: «высшие формы соединений элемента с водородом и кислородом, а следовательно, и с элементами, им эквивалентными, определяются атомным весом элемента и представляют периодическую его функцию. Этим принципом ограничивается разнообразие возможных форм» [38, с. 170].

*** Эту проблему Менделеев решить так и не смог, отчасти потому, что среди редкоземельных элементов, найденных в XIX в., было много ошибочно открытых и, кроме того, это были слабо индивидуализированные тела. Все они так или иначе должны были разместиться в 6, 7 и 8-м рядах таблицы (вариант 1870 г.). Тем не менее «неясность в индивидуальных свойствах и вообще недостаток сведений не позволял произвести достаточно обоснованное отождествление редкоземельных элементов с определенными местами в системе. Поэтому 6–8-е ряды вплоть до конца жизни Менделеев оставлял пустыми почти целиком» [33, с. 65]. (См. также [59].)

лано, и в начале 1871 г., заканчивая «Основы», Дмитрий Иванович смог сформулировать открытый им закон в его полноте и общности:

... вся сущность, вся природа элементов выражается в их весе, т. е. в массе вещества, вступающего во взаимодействие. <...> *Физические и химические свойства элементов, проявляющиеся в свойствах простых и сложных тел, ими образуемых, стоят в периодической зависимости <...> от их атомного веса* [36, с. 907].

Таким образом, рассматривая историю открытия Менделеевым *ПЗ* и создания *ПС en bloc* (исключая длительный этап концептуальной и информационной подготовки, завершившийся к концу 1868 г.), можно выделить в ней три главные вехи:

— составление «первой пробы» (или, точнее, первых «проб») системы элементов типа (IIa) и (IIb), построенных по схеме (I) и открытие периодического характера зависимости свойств элементов от их атомных весов, т. е. открытие концептуального ядра *ПЗ* (конец 1868 — начало 1869 гг.);

— вынужденный отказ от построения системы элементов по схеме (I), переход к новой структуре системы типа (III), создание «Опыта» как временного, компромиссного варианта системы (17 февраля 1869 г.);

— формирование «Естественной системы элементов» на основе окончательно отработанных критериев объединения элементов первого и второго разрядов (завершилось к ноябрю 1870 г.).*

К сожалению, сохранившиеся документы не позволяют датировать все три названные события с точностью до дня, но, в любом случае, 17 февраля 1869 г. не может считаться днем «одного великого открытия» и даже днем его завершения. Создание «Опыта» означало вступление работы по систематике элементов в ту фазу, когда Менделеев, убедившись, что «способ распределения элементов по их атомному весу не противоречит естественному сходству, существующему между элементами, а напротив того, прямо на него указывает» [38, с. 18–20] и что в подмеченных им закономерностях «случайности допустить было невозможно» [38, с. 326], уже мог сформулировать первые фундаментальные выводы, составившие ядро учения о периодичности и дать, пусть не вполне совершенное, графическое представление почти полной системы элементов, «основанной на их атомном весе и химическом сходстве». Но самая трудная часть работы была впереди, и на нее у Менделеева ушел год и девять месяцев.

Открытие *ПЗ* — это не линейный процесс, не «скучное бородатое развитие» (О. Мандельштам) в вертикальном направлении (от записей на обороте письма Ходнева, через «Опыт» к «Естественной системе»), но сложный, извилистый и трудный путь, на котором Менделееву предстояло не просто в один прекрасный день удачно разложить «химический пасьянс» да вовремя увидеть нужный сон (это все занятные, хотя скудно документированные детали), но проделать огромную работу по осмыслению громадной, разноречивой и не всегда точной информации и концептуального аппарата химии.

Думаю, любой исследователь на месте Менделеева, открыв *ПЗ* и создав *ПС*, всю свою оставшуюся жизнь посвятил бы главным образом (если не исключительно) совершенствованию форм *ПЗ*, поискам новых корреляций между разнообразными

* Речь здесь, разумеется, идет не о самих по себе графических формах выражения системы («Опыт», «Естественная система элементов»), но о тех комплексах идей и характере понимания проблемы, которые стояли за каждой из этих таблиц в феврале 1869 и в ноябре 1870 гг.

ми формами элементов, простых тел и соединений в свете учения о периодичности и тому подобным вопросам, т. е. просеиванию сквозь сито этого учения всех крупных и мелких фактов и теорий. Таков был бы путь типичного ученого, *специалиста-химика*. Однако Менделеев, будучи по характеру и разнообразию своих интересов, стилю работы, мегаломании в постановке задач и профетическим наклонностям скорее *натурфилософом*, нежели *ученым (scientist)*, пусть даже с энциклопедически широким кругозором*, пошел по иному пути.

14 ноября 1871 г. Дмитрий Иванович получил письмо от проф. П. А. Ильенкова** с сообщением о новом типе насоса и его изобретателе Н. Ягно [60], а 20 декабря в рабочей тетради Менделеева появилась следующая запись: «Опыт. Шмидт. Кирпичев и я с насосом Ягно» [61]**. Это означало крутой поворот в направлении исследований Менделеева. Он обратился к изучению свойств газов в состоянии сильного разрежения. Почему?

ПЗ таил в себе много загадок, «не поддающихся рациональной концепции» [38, с. 218]. Одна из самых глубоких — это физические причины явления периодичности. Поскольку свойства элементов находились в периодической зависимости от их атомных весов, то, как полагал Менделеев, объяснение природы периодичности «возможно только в смысле динамического представления, могущего и долженствующего прежде всего разъяснить самое понятие о весе» [36, с. 805]. Отсюда его интерес к вопросу о «причине веса и притяжения» [там же], а также к свойствам среды, передающей свет и тяготение, т. е. к мировому эфиру. Он был глубоко убежден в том, что «объяснить и выразить периодический закон — значит объяснить и выразить причину закона кратных отношений, различия элементов и их атомности и в то же время понять, что такое масса и тяготение» [38, с. 321].

По мнению Менделеева, одним из возможных способов доказательства существования эфира могло быть исследование сильно разреженных газов. В этих условиях свойства «обычного» вещества перестали бы маскировать свойства эфира.

О природе мирового эфира Менделеев высказал несколько гипотез. Согласно одной из них, эфир мог быть специфическим состоянием газов воздуха при большом разрежении («сумма разреженнейших газов в предельном состоянии» [38, с. 474]) или особым газом с очень малым весом. «Уже с 70-х годов, — вспоминал Менделеев, — у меня назойливо засел вопрос: да что же такое эфир в химическом смысле? Он тесно связан с периодической системой элементов, ею и возбуждался во мне» [там же]. На личном экземпляре «Естественной системы» (оттиск из второй части первого издания «Основ», 1871 г.) около символа водорода Менделеев делает запись: «легче всех эфир, в миллионы раз» [16, с. 178]. В рабочей тетради за 1874 г. содержится любопытная фраза: «При нулевом давлении у воздуха есть нек[оторая] плотность, это и есть эфир!» [62]. Но в опубликованных работах того времени, и уж подавно в отчетах и официальной переписке Менделеев об эфире почти не упоминал.

Однако этот цикл его работ не дал сколько-нибудь значимых результатов. Хотя исследования по газам субсидировались Русским техническим обществом (РТО), благодаря чему у Менделеева появилась уникальная возможность реализовать

* Это обстоятельство, как мне кажется, необходимо в первую очередь учитывать, рассматривая его полемику с Л. Майером, которая лишь на первый взгляд кажется исключительно приоритетной.

** Ильенков Павел Антонович (1821–1877) — русский химик. Основные труды посвящены химической технологии и агрохимии.

*** Шмидт Густав Августович (1839–1911) — химик, помощник и лекционный ассистент Менделеева.

широко задуманную экспериментальную программу, результаты его усилий оказались более чем скромными, хотя он и обещал РТО поклониться в пояс тому, кто сделал бы больше [40, с. 187].

В «наблюдении очень малых давлений встретились непреодолимые трудности <...>. Практически оказалось невозможным сколько-либо точно измерять давления, меньшие, чем в десятые доли миллиметра высоты ртутного столба, а это — когда дело идет о разрежениях, подобных тем, какие надо предполагать даже на высоте 50 километров над уровнем наших морей — чересчур большие величины. Поэтому представление об эфире как сильно-разреженном газе атмосферы не может донныне подлежать опытному исследованию и измерению» [38, с. 474–475]. Впрочем, указанное представление, по мнению Менделеева, «не выдерживает даже первых приступов вдумчивости» [38, с. 475], поскольку газы и пары, в отличие от эфира, не способны проникать через все тела.

Предложенное Менделеевым уравнение состояния идеального газа, которое, по уверениям авторов «Летописи», является «основным результатом /его/ работы <...> в области физики газов» [16, с. 179], к тому времени (1874–1875) уже использовалось в литературе (см. подр. [63]), а потому его вывод Менделеевым мог иметь лишь методическое значение.

Наконец, — и это главное, — так называемые «положительные отступления» [38, с. 474] от закона Бойля — Мариотта при очень низких давлениях, которым Менделеев придавал особое значение*, впоследствии не подтвердились [64].

Кроме того, работе Менделеева препятствовали многие обстоятельства «во внешней обстановке дела» [40, с. 187]: загруженность другими занятиями (преподавание в университете, напряженный труд по выпуску второго и третьего изданий «Основ», изучение «нефтяных дел», ведение сельскохозяйственных опытов по поручению ВЭО и т. д.), смерть в 1875 г. Кирпичева («потери его не могу вспомнить спокойно и поныне <...>, потому что такого товарища в работе, как он <...> трудно сыскать», — писал Менделеев в 1881 г. [40, с. 187], уход в 1877 г. ассистентов (В. А. Гемилиана, Н. Н. Каяндера и Ю. Е. Богусского), заболевание плевритом (с сентября 1878 по май 1879 г. Менделеев в основном был на лечении за границей), избрание в Академию наук, наконец, семейная драма (развод с первой женой и второй брак). Все эти обстоятельства привели в итоге на рубеже 1870–1880-х гг. к тяжелому психологическому кризису.

Состояние духа Дмитрия Ивановича, — вспоминала А.И. Попова, вторая жена Менделеева, — сказывалось в его работах и разговорах. Он написал завещание, собрал все письма за 4 года, писанные ко мне. <...> Сам решил ехать на съезд в Алжир. Дальше передаю с его слов: «По дороге я хотел упасть с палубы в море». Этого он, конечно, никому не сказал, но Бекетов и другие сами заметили его состояние (цит. по [40, с. 62]).

Но если ограничиться чисто научной стороной ситуации, то следует сказать, что провал широко задуманной исследовательской программы по физике газов

* «Если допустить, — писал Менделеев в 1875 г. в отчете РТО, — что замеченные отступления будут до конца изменяться в том же направлении, как в опытах с воздухом моих и Кирпичева, то можно ждать при некоторой малой плотности газа уничтожения его упругости, то есть прекращения в дальнейшем расширения. <...> Тогда должно будет признать, <...>, что упругий световой эфир небесного пространства составляет вещество, настолько отличное от газов, насколько одно химически простое тело отличается от другого <...>. Принимая границу для разрежения простых газов, должно будет видеть в ней самую предельную форму вещества <...>» [58, с. 227].

стал для Менделеева сильным ударом. Положение усугублялось тем, что в эти годы физическая химия, к которой он с молодости питал особый интерес, заметно изменила свой характер. Внимание исследователей сконцентрировалось на таких вопросах, как электропроводность и ионные равновесия в растворах, скорость диффузии ионов, электродные потенциалы, химическая кинетика и т. д. В физико-химических работах все шире использовались термодинамические методы, аппарат теории дифференциальных уравнений и т. п. Серьезные изменения намечались и в физике. Все это в целом было непривычно, а подчас и чуждо Менделееву, который корил современную ему научную мысль за то, что она «запуталась в ионах и электронах» [37, с. 436]. И более всего ему были чужды даже не отдельные идеи и теории (многие из которых он критиковал вполне заслуженно), но сам стиль и строй физико-химических работ новой волны. В результате он оказался в оппозиции многим крупным открытиям в естествознании второй половины XIX в. (см. [14, 65]). Открыв *ЛЗ* и встав в конце 1871 г. перед выбором — заняться далее «химической стороной дела» (к примеру, кропотливыми аналитическими исследованиями редкоземельных элементов, которые он начал было проводить с декабря 1870 г.) или же обратиться к поискам физических причин периодичности — Менделеев, последний великий натурфилософ XIX столетия, пошел по второму пути, который оказался тупиковым. Триумф Периодической системы стал прологом трагического одиночества ее создателя: «я опять очутился один» [40, с. 188].

Литература

1. Novaro O. A., Berrondo M. Approximate Symmetry of the Periodic Table // J. Phys. B: Atom. Molec. Phys. 1972. Vol. 5. P. 1104–1110.
2. Ostrovsky V. N. Dynamic Symmetry of Atomic Potential // J. Phys. B: Atom. Molec. Phys. 1981. Vol. 14. P. 4425–4439.
3. Sinanoglu O. Remarks on Dynamical and Noncompact Groups in Physics and Chemistry // Intern. J. Quant. Chem. Symp. 1973. Vol. 7. P. 45–52.
4. Gurskii L. I., Komarov L. I., Solodukhin A. M. Group of Symmetry of the Periodic System of Chemical Elements // Intern. J. Quantum Chemistry. 1999. Vol. 72. N 5. P. 499–508.
5. Романовская Т. Б. История квантовомеханической интерпретации периодичности. М., 1986.
6. Мельников В. П., Дмитриев И. С. Дополнительные виды периодичности в периодической системе Д. И. Менделеева. М., 1988.
7. Ninov V., Gegerich K. E. et al. Observation of Superheavy Nuclei Produced in the Reaction of ^{86}Kr with ^{208}Pb // Physical Review Letters. 1999. Vol. 83. N 6. P. 1104–1107.
8. Rutz K., Bender M. et al. Superheavy Nuclei in Self-Consistent Nuclear Calculations // Physica Review C: Nuclear Physics. 1997. Vol. 56. N 1. P. 238–243.
9. Munzenberg G. Discoveries of the Heaviest Elements // J. Phys. G: Nucl. Part. Phys. 1999. Vol. 25. N 4. P. 717–725.
10. Кедров Б. М. День одного великого открытия. М., 1958.
11. Кедров Б. М. Философский анализ первых трудов Д. И. Менделеева о периодическом законе (1869–1871). М., 1959.
12. Кедров Б. М. Микроанатомия великого открытия: к 100-летию закона Менделеева. М., 1970.
13. Кедров Б. М. Прогнозы Д. И. Менделеева в атомистике. I. Неизвестные элементы. М., 1977; II. Атомные веса и периодичность. М., 1978; III. За гранью системы элементов. М., 1979.
14. Макареня А. А. Д. И. Менделеев и физико-химические науки. (Опыт научной биографии Д. И. Менделеева). 2-е изд. М., 1982. (1-е изд. – 1972). Далее все цитаты даются по второму изданию.

15. Трифонов Д. Н. Версия-2: к истории открытия периодического закона Д. И. Менделеевым // Вопросы истории естествознания и техники. 1990. № 2. С. 25–36; № 3. С. 20–32.
16. Добротин Р. Б., Карпило Н. Г., Керова Л. С., Трифонов Д. Н. Летопись жизни и деятельности Д. И. Менделеева / Отв. ред. А. В. Сторонкин. Л., 1984.
17. Bensaude-Vincent B. Mendeleev's Periodic System of Chemical Elements // Brit. J. Hist. Sci. 1986. Vol. 19. P. 3–17.
18. Spronsen J. W. van. The Periodic System of Chemical Elements: A History of the First Hundred Years. Amsterdam–London–New-York: Elsevier, 1969.
19. Rawson D. C. The Process of Discovery: Mendeleev and The Periodic Law // Annals of Science. 1974. Vol. 31. P. 181–204.
20. Brooks N. Chemical Classification: the Periodic Table (in press).
21. Brooks N. Dmitrii Mendeleev's *Principles of Chemistry* and the Periodic Law of the Elements // Communicating Chemistry: Textbooks and their Audiences, 1789–1939 / Ed. by A. Lundgren and B. Bensaude-Vincent. Canton (Mass.): Science History Publications. 2000. P. 295–309.
22. Graham L. Textbook Writing and Scientific Creativity: The Case of Mendeleev // National Forum, 1983 (Winter). P. 22–23.
23. Graham L. Science in Russia and the Soviet Union: A Short History. Cambridge: Cambridge UP, 1993 (рус. пер.: Грэхем Л. П. Очерки истории российской и советской науки. М., 1998).
24. Kaji M. On Mendeleev's path to the discovery of the periodic law: analysis of his work of 1854–1869 (in Japanese) // Kagakusi Kenkyu: J. Hist. Sci. (Japan). 1987. Vol. 26. P. 129–139.
25. Kaji M. Mendeleev's Discovery of the Periodic Law of the Chemical Elements (The Scientific and Social Context of His Discovery). Sapporo: Hokkaido UP. 1997 (in Japanese with English Summary). P. 356–380.
26. Kaji M. The historical context of the first edition of the Mendeleev's chemistry textbook «The Principles of Chemistry» // Kagakusi Kenkyu: J. Hist. Sci. (Japan). 1988. Vol. 27. P. 24–36 (in Japanese).
27. Nekoval-Chikhaoui L. Diffusion de la Classification Periodique de Mendeleev en France entre 1869 et 1934 (These presentee pour obtenir le grade de Dr. en Sci. De l'Universite Paris XI Orsay). 1994.
28. Brush S. G. The Reception of Mendeleev's Periodic Law in America and Britain // ISIS. 1996. Vol. 87. P. 595–682.
29. Cassebaum H., Kauffman G. B. The Periodic System of the Chemical Elements: The Search for Its Discoverer // ISIS. 1971. Vol. 62. N 213. P. 314–327.
30. Kedrov B. M. Le 1-er Mars 1869; jour de la decouverte de la loi periodique par D. I. Mendeleev // Cahiers d'Histoire Mondiale. 1960. T. 6. N 3. P. 644–656.
31. Kedrov B. M. Mendeleev, Dmitry Ivanovich // Dictionary of Scientific Biography: In 18 vols. / Ed. C. C. Gillispie. New-York, Ch. Scribner's Sons. 1970–1990. Vol. 9. P. 186–295.
32. Добротин Р. Б. К истории открытия германия (экасилиция) // Вестник Ленинградского университета: Химия. 1956. № 10. С. 55–59.
33. Добротин Р. Б., Макареня А. А. Прогнозирование свойств скандия и германия в работах Д. И. Менделеева // Прогнозирование в учении о периодичности / Отв. ред. Б. М. Кедров и Д. Н. Трифонов. М., 1976. С. 53–70.
34. Дмитриев И. С. Теоретические исследования П. Э. Лекок де Буабодрана по классификации химических элементов и систематике спектров // Учение о периодичности: История и современность / Отв. ред. Д. Н. Трифонов. М., 1981.
35. Менделеев Д. И. Сочинения: в 25 тт. Т. 13. Основы химии. Ч. I. Л.-М., 1949.
36. Менделеев Д. И. Сочинения: в 25 тт. Т. 14. Основы химии. Ч. II. Л.-М., 1949.
37. Менделеев Д. И. Периодический закон. Дополнительные материалы / Редакция, статьи и примечания Б. М. Кедрова. М., 1960. (Серия: Классики науки.)
38. Менделеев Д. И. Периодический закон. Основные статьи / Редакция, статьи и примечания Б. М. Кедрова. М., 1958. (Серия: Классики науки.)

37. Менделеев Д. И. Периодический закон. Дополнительные материалы / Редакция, статьи и примечания Б. М. Кедрова. М., 1960. (Серия: Классики науки.)
38. Менделеев Д. И. Периодический закон. Основные статьи / Редакция, статьи и примечания Б. М. Кедрова. М., 1958. (Серия: Классики науки.)
39. *Rocke A. J.* Chemical Atomism in the Nineteenth Century: From Dalton to Cannizzaro. Columbus: Ohio State University Press, 1984. Ch. 9.
40. Тищенко В. Е., Младенцев М. Н. Дмитрий Иванович Менделеев, его жизнь и деятельность. Университетский период, 1861–1890 гг. / Отв. ред. Ю. И. Соловьев. М., 1993. (Научное наследство. Т. 21.)
41. Соловьев Ю. И. История химии в России. М., 1985.
42. Гесс Г. И. Основания чистой химии. Изд-е 7-е. СПб., 1849.
43. Авдеев И. В. О глиции и его соединениях // Горный журнал. 1843. Ч. 3. Кн. 9. С. 361–391.
44. Труды Института истории естествознания и техники. Т. 6. История химических наук и химической технологии. М., 1955.
45. *Roscoe H. E.* Researches on Vanadium (The Bakerian Lecture) // Philosophical Transactions of the Royal Society of London, 1869 (for the year 1868). Vol. 158. P. 1–27 (особ. с. 19–24).
46. *Rocke A. J.* Subatomic Speculations and the Origin of Structure Theory // *Ambix*, 1983. Vol. 30. P. 1–10.
47. *Meyer L.* Die Natur der chemischen Elemente als Function ihrer Atomgewichte // *Ann. Chem. u. Pharm.* VII. Supplementband. 1870. 3 Heft. S. 354–364.
48. Дмитриев И. С. Проблема размещения индия в Периодической системе элементов // Вопросы истории естествознания и техники. 1984. № 2. С. 3–14.
49. *Newlands J. A. R.* Relations between Equivalents // *Chemical News and Journal of Physical Science*. 1864. Vol. 10. July. P. 59–60, 94–95.
50. *Meyer L.* Die Modernen Theorien der Chemie und Ihre Bedeutung fur die chemische Statik. Breslau: Maruschke u. Berendt, 1864. (Рус. пер.: Л. Мейер. Новейшие теории химии и их значение для химической статики / Пер. с нем. Н. Афанасьева. СПб. 1866.)
51. Архив Д. И. Менделеева. Т. 1. Л., 1951.
52. *Mendeleev D. I.* Uber die Stellung des Cerimus im System der Elemente // *Bull. Acad. imper. sci. St.- Petersburg*, 1871. Т. 16. N 1, col. 45–51, tab. (см. также [38, с. 59–68]).
53. Дмитрий Иванович Менделеев. Библиографический указатель трудов по периодическому закону и общим вопросам химии и физики / Руков. авт. колл. О. П. Каменоградская. Л., 1969.
54. Менделеев Д. И. Сочинения: в 25 тт. Т. 1. Кандидатская и магистерская диссертации. Л., 1937.
55. Штреккер А. Краткий учебник органической химии / Пер. под рук. Е. Андреева. СПб., 1856.
56. Менделеев Д. И. Сочинения: в 25 тт. Т. 15. «Знания теоретические». Мелкие заметки. Л.-М., 1949.
57. Менделеев Д. И. Заветные мысли. М., 1995.
58. Менделеев Д. И. Сочинения: в 25 тт. Т. 6. Газы. Л.-М., 1939.
59. Трифонов Д. Н. Редкоземельные элементы и их место в периодической системе. М., 1966.
60. Музей-архив Д. И. Менделеева, СПбГУ, I–B–23–I–62.
61. Музей-архив Д. И. Менделеева, СПбГУ, II–Ж–35–I–1.
62. Музей-архив Д. И. Менделеева, СПбГУ, II–Ж–35–I–2.
63. Киселева М. Н. К истории открытия уравнения состояния идеального газа // Менделеевский сборник / Под ред. И. С. Дмитриева. СПб., С. 85–97.
64. Добротин Р. Б., Керова Л. С., Кротиков В. А. Исследования Менделеева по физике газов // Вопросы истории и методологии химии / Под ред. Р. Б. Добротина. Вып. 2. Л., 1978. С. 73–96.
65. Макареня А. А. Д. И. Менделеев о радиоактивности и сложности элементов. М., 1965.