

ском плане в виде различных возможностей дифференциации исследовательской области, из которой может развиваться ряд таких областей, интегрирующихся далее в отдельную более крупную область, дисциплину, междисциплинарный проект и т. д.

Множественность аспектов (предметный, исторический, организационный, коммуникационный и т. д.) исследовательской области как структурной единицы науки служит важной предпосылкой динамизма науки как целого, а доступность исследовательской области для науковедческого (и смежных с ним наукометрического, социолого-научного и т. д.) описания служит условием возможности соответствующего описания науки на дисциплинарном и более высоких уровнях структуры.

Литература

1. Маркс К. Экономические рукописи 1857—1859 годов. Часть вторая. Критика политической экономии (черновой набросок 1857—1858 годов).— Маркс К. и Энгельс Ф. Соч., т. 46, ч. 2. М.: Политиздат, 1969.
2. Энгельс Ф. Наброски к критике политической экономии.— Маркс К. и Энгельс Ф. Соч. Т. 1. М.: Политиздат, 1954.
3. Материалы XXVI съезда КПСС. М.: Политиздат, 1981.
4. Микулинский С. Р. Еще раз о предмете и структуре науковедения.— *Вопр. философии*, 1982, № 7.
5. Горский Д. П. Вопросы абстракции и образование понятий. М.: Изд-во АН СССР, 1961.
6. Косарева Л. М. Предмет науки. Социально-философский аспект проблемы. М.: Наука, 1977.
7. Юдин Э. Г. Системный подход и принцип деятельности. М.: Наука, 1978.
8. Кара-Мурза С. Г., Рожков С. А. Использование формализованных методов при выявлении и оценке новых научных направлений.— *Вестн. АН СССР*, 1984, № 8.
9. Кун Т. Структура научных революций. Изд. 2-е. М.: Прогресс, 1977.
10. Crane D. Scientists at major universities: a study of productivity and recognition.— *Amer. Soc. Rev.*, 1965, v. 30.
11. Hagstrom W. O. The scientific community. N. Y., 1965.
12. Griffith B. C. a. oth. The structure of scientific literatures.— *Sci. studies*, 1974, v. 4.
13. Woolgar S. W. Writing an intellectual history of scientific development: the use of discovery accounts.— *Social studies sci.*, 1976, v. 6.
14. Научная деятельность (структуры и институты). М.: Наука, 1980.
15. Уитли Р. Когнитивная и социальная институционализация научных специальностей и областей исследования.— В кн.: Научная деятельность (структура и институты). М.: Наука, 1980.
16. Levy M. I. The structure of society. Princeton, 1952.
17. Юдин Б. Г. Системные представления в функциональном подходе.— В кн.: Систем. исследования. Ежегодник 1973. М.: Наука, 1973.
18. Ярошевский М. Г. Логика развития науки и научная школа.— В кн.: Школы в науке. М.: Наука, 1977.
19. Уголев А. М. Достижения физиологии и проблемы питания.— *Вестн. АН СССР*, 1984, № 6.
20. Рейснер Л. И. Страны Востока: проблема исторического синтеза традиционности и современности.— *Вестн. АН СССР*, 1984, № 7.
21. Гарин А. М., Переводчикова Н. И. Проблемы современной химиотерапии опухолей.— *Вестн. АМН СССР*, 1982, № 12.
22. Майстров Л. Е. Памятники науки и техники и их значение.— В кн.: Памятники науки и культуры — 1981. М.: Наука, 1981.
23. Велихов Е. П. Сохраним память науки.— В кн.: Памятники науки и культуры — 1982—1983. М.: Наука, 1984.

THE RESEARCH FIELD AS THE STRUCTURAL UNIT

OF SCIENCE

B. A. STAROSTIN

The definition of the structural units of science has the practical interest for planning, making, prognosis, management of science. As such unit the sphere of research must be considered. The research field is characterized by the general cognitive purposes together with human and material resources which are necessary for realization of these purposes. Plurality of aspects (objective, historical, communicative and other) of research field creates major premises for the dynamism of science as a whole.

«ЗВУЧАЩАЯ БРОНЗА»

Т. Б. ШАШКИНА (Одесса)

Бронза — древнейший из известных человечеству сплавов, из которых во все времена начиная с IV—III тысячелетия до н. э. изготавливались разнообразные орудия производства, оружие, произведения искусства и предметы быта. Преимущества, которые придают меди добавки мышьяка, сурьмы, олова и других элементов, связаны с целой материальной эпохой в истории цивилизаций.

Кульминация бронзовой металлургии — оловянистая, или «классическая», бронза — целая группа различных сплавов на основе системы медь — олово. Исторический процесс освоения оловянистых бронз выразился в их четком разграничении применительно к функции и назначению: существует художественная бронза для монументальной скульптуры, бронза монетная, пушечная, техническая, бронза — зеркальный сплав, наконец, бронза как материал, традиционно используемый в ударных музыкальных инструментах — колоколах, барабанах, гонгах, тарелках [1, 2].

Последний сплав — в литературе по бронзолитейному производству он известен под названием «звучащая бронза», «резонансная бронза», «колокольная бронза», «колокольный металл» [2—5] — выделяется из ряда исторических бронз тем культурно-историческим контекстом, который сложился вокруг него в ходе длительного изготовления и употребления музыкальных инструментов как инструментов преимущественно культового и ритуального назначения, составляя своего рода фольклорный раздел в истории металлов. Связанный с этим сплавом фольклорный материал может быть условно разделен на две части. Во-первых, это легенды, возникшие в связи с технической стороной явления — литьем — это, так сказать, производственные легенды. Среди них назовем прежде всего легенду о том, что рецепт звучащего сплава представляет собой недоступный непосвященным «секрет» (хотя этот секрет широко освещается всемирной литературой по бронзолитейным ремеслам), затем легенду о том, что для красивого звучания колокольный сплав должен обязательно содержать серебро (хотя те же источники или молчат об этом (ранние), или настойчиво отрицают необходимость серебра (поздние) [2, с. 20; 5, с. 107]), наконец, поверья о всеобщей могущественности и распространенности этого сплава (даже фармацевтические и кулинарные ступки в средневековье считались отлитыми из того же особого сплава [6]). Во-вторых, это легенды, связанные с восприятием звучания музыкальных инструментов и колокольной бронзы — «магией звука: независимо от условий возникновения и проявления в рамках самых различных культур звону металла традиционно приписывались очистительная, охранная, катарсическая, предсказательная, профилактическая, спасительная, заклинательная и т. п. функции [7, с. 342]. Крупный историк музыки Н. Финдейзен давал следующую характеристику этому феномену: «Известно, что библейские первосвященники имели на концах своего паллиума колокольчики. При освящении и очищении жертв, а также во время молитв жрецы Прозерпины в Афинах звонили в колокольчики. В глубокой древности романские народы воздвигали жертвенник рядом со священным деревом, на котором были повешены колокольчики. Точно так же в старину для удаления злых духов из дома («очищение») его окропляли очистительной водой при звоне колокольчиков. Таким образом, колокола и колокольчики уже в древнейшее время являлись символом очищения, предохранения и заклинания против злых духов и обязательным атрибутом всевозможных молитв и религиозных обрядов, и это значение их сохраняло, конечно, свою силу при погребальных обрядах, так же как пережиток их можно найти,

например, в тех же атрибутах и «действиях» шаманов и других служителей религиозных культов многих современных нам нехристианских и полудиких племен [8, с. 19]. Сходную характеристику находим у Дж. Фразера: «...С древних времен существует общераспространенное поверье, что бесов и духов можно обратить в бегство звоном металла — мелодическим ли треньканьем бубенчиков, зычным ли голосом колоколов, резким ли бренчаньем цимбалов, гуденьем ли гонга или просто лязгом железных или бронзовых тарелок, ударяемых молотком, палкой или одна о другую. Поэтому при обрядах изгнания беса заклинателю нередко предписывается звонить в колокольчик, который он держит в руке, или же привязывать к той или иной части тела целую связку бубенчиков так, чтобы они бренчали при каждом его движении... Эти представления о ненависти духов к звону металла не угасали со смертью язычества. Они продолжали жить во всей своей силе и при христианстве — в средние века и много позже... В христианские времена самым противным звуком для вражьего слуха являлось стройное и торжественное пение церковных колоколов» [9, с. 393].

Мифы, легенды, возникшие вокруг колокололитейного ремесла и его «материальной базы» — колокольного сплава, представляют значительный исследовательский интерес, получивший определенное освещение в работах по сравнительной этнографии и этноинструментоведению. С другой стороны, колокололитейное ремесло — это такой предмет исследования, с которым уже давно имеет дело история науки [10, с. 99—119; 11, с. 47—76; 12, с. 194—199; 13, с. 331; 4, с. 64]. Историков науки, особенно историков технологии, при обращении к материалам колокололитейного ремесла неизменно приводил в восхищение его высокий технический уровень, высокое техническое и художественное качество его изделий, сложность его задач, связанных со звуком, акустикой. При этом фактом истории научно-технических идей представилось то обстоятельство, что «техника литья колоколов внесла в металлургию важный элемент строжайшего соблюдения химического состава сплава, поскольку кроме механических и прочностных свойств нужно было учитывать звучность» [15, с. 24], «стимулировала металлургическое мастерство» [14, с. 67], что найденное для сплава решение является одной из «загадок звучащего металла» [16].

Лучшим колокольным сплавом в настоящее время считается бронза, содержащая 78—80% меди, 20—22% олова и не более 1—2% примесей (в ответственных заказах — не более 1%) [4, с. 77]. И состав, и технология были найдены веками интуитивного, эмпирического поиска и почти не терялись и не менялись, переходя из поколения в поколение. На европейской почве состав колокольного сплава был впервые зафиксирован в знаменитом трактате бенедиктинского монаха Теофила «Краткое изложение различных искусств» — первой европейской ремесленной энциклопедии (~первой половины XI в.) [17, с. 324], но еще гораздо более ранняя попытка была сделана в другом конце мира, в древнем Китае, в не менее знаменитом источнике — главе «Као-гун-цзи» книги «Чжоу-ли», датированной не позже чем III в. до н. э. [18, с. 491; 12, с. 180]. В средневековой Европе рецепт циркулирует, по-видимому, посредством списков сочинения Теофила¹. В XVI в. он обсуждается Бирингуччо [19, с. 210, 211], в XVII в. — Мерсенном [20, с. 4], с него начинается Ньютон, приступая к разработке сплава для своего отражательного телескопа [21]. В XVIII в. состав колокольного сплава попадает в «Энциклопедию» Дидро и Даламбера [22, с. 542], в XIX в. — во все крупные энциклопедии мира (например, [23, с. 457]), руководства по бронзолитейному производству [24, с. 225] и технические обзоры [2, с. 68], в XX в. — в специальные руководства по колокололитейному делу [3, с. 47; 4, с. 77; 25, с. 383, 388; 26, с. 219—226]. К этому же времени относятся попытки обобщения ряда физических и механических свойств этого сплава [3, с. 38—48; 4, с. 73—85] на основании данных ремесленной практики — как последняя стадия линии, начатой в Европе Теофилом. Однако этот сплав так и не оказывается в сфере интересов металловедения цветных сплавов как дорогостоящий (из-за высокого содержания олова) и экономически невыгодный. Оловянистая бронза подобного состава в техническом металловедении классифицируется как нестандартный литейный сплав ответственного назначения [27, с. 192].

¹ Сохранилось 12 разновременных списков манускрипта Теофила, самый древний впервые упоминается Агриппой (1530) и затем Лессингом (1774) [17, с. 66—70].

Таким образом, бывший одним из первостепенных в сфере общественного потребления древности и средневековья, колокольный сплав отошел на задний план. Как следствие, понятие «звучащий металл» из собственно ремесленного в собственно научное употребление так и не перешло.

Что касается самого ремесла, то со времен Теофила колокольный рецепт не претерпел никаких изменений, разве что появились жесткие требования к чистоте используемых материалов, и даже современный стандарт на состав сплава для судовых колоколов в СССР [28] целиком воспроизводит древнее предписание.

* * *

В результате более чем столетних археологических раскопок на территории Восточной Европы накопился большой фонд вещественных памятников колоколотейного ремесла. В соединении с сохранившимися памятниками средневекового (древнерусского) периода это позволяет получить представление об общем ходе данного ремесленного процесса на территории западной половины СССР от истоков до начала XVIII в. (дофабричный период).

Не имея возможности в рамках статьи дать характеристику отдельных этапов этого процесса, ограничимся рисунками (рис. 1—7). В целях данного исследования — установления генезиса и эволюции исторического колокольного сплава — по всем основным хронологическим пластам колоколотейного ремесла было проведено химико-аналитическое исследование металла. С целью охвата всего материала в целом работа строилась по принципу выборочного статистического наблюдения, очень важным моментом оказалось достижение максимума определений: локальная однородность, временная (поэтапная) однородность. В программу исследования входили: 1) классификация памятников, 2) синхронистическое описание, 3) химический анализ по выборке, 4) статистическая обработка, 5) диахроническое описание — установление эволюционного ряда. Всего исследовано 180 памятников², для периода поздней бронзы использованы литературные данные [29].

Результаты показаны на рис. 8 в виде общей эволюционной кривой для состава сплава. Поскольку распределения в выборках в начальных этапах ремесла показали значительные отклонения от нормального закона, а для поздних этапов (XIV—XVII вв.) выборки малы, то доверительные интервалы не высчитывались; на рис. 2 приведены средние значения и размах. В верхней части рисунка показан общий металлургический фон (типы использовавшихся в соответствующие периоды сплавов на основе меди по данным историко-металлургических исследований для территории Восточной Европы [29—33]³).

Полученные результаты позволили установить следующие факты (рис. 8).

Первый фиксируемый этап колоколотейного ремесла (эпоха поздней бронзы, XIV—XII вв. до н. э.) протекает целиком в русле основной металлургической традиции в том смысле, что изделия любого назначения (кинжалы, серпы, кельты, ножи, браслеты, включая шумящие подвески, — примитивная разновидность инструментов для извлечения звука) изготавливаются из бронзы произвольного химического состава при относительно невысоком содержании олова (до 10—12%). Начиная со следующих (кобанского и скифского) периодов, происходит выделение сплава из общеметаллургического русла, причем сразу по нескольким параметрам.

По номенклатуре компонентов — стойкой приверженности к двум типам сплавов: Cu—Sn-бронзе и Cu—Sn—Pb-бронзе с высоким содержанием олова (до 20%) и относительно невысоким нерегулярным содержанием свинца (от 1 до 10%). При этом пра-

² Использованы музейные коллекции Государственного Эрмитажа, Государственного Исторического музея, Государственных музеев Кремля, Киевского исторического музея, Музея АН УССР, Музея истории и реконструкции Москвы, Псковского музея-заповедника, Львовского исторического музея, Одесского археологического музея, музеев Крыма, отдельные неучтенные памятники, материалы, предоставленные некоторыми исследователями.

³ По средневековой металлургии цветных сплавов имеются только фрагментарные данные [34, 35].

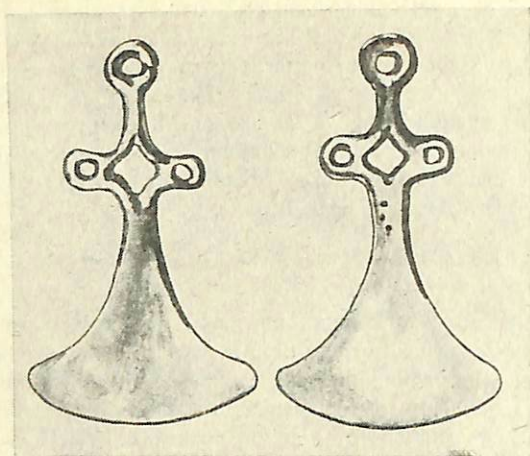


Рис. 1

Рис. 1. Шумящая подвеска (Ингульский клад, XIII—XII вв. до н. э. Одесский археологический музей, инв. № 80166/1)



Рис. 2

Рис. 2. Колокольчик кобанской культуры (Верхняя Кобань, XI—VII вв. до н. э. Государственный исторический музей, инв. № 25201, 53/186)

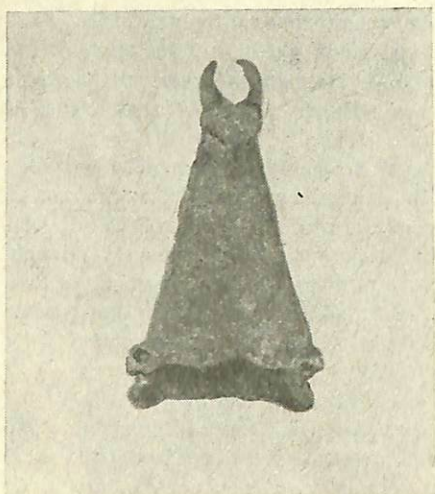


Рис. 3

Рис. 3. Пирамидальный колокольчик (Неаполь скифский, I—III вв. н. э. Симферопольский исторический музей, инв. № 471)

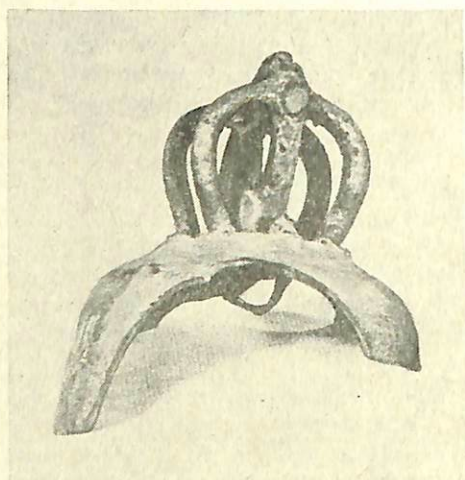


Рис. 4

Рис. 4. Фрагмент древнерусского колокола домонгольского времени (Сахновка (Девичья-гора), XII—XIII вв. Киевский исторический музей, инв. № В3488/43)

вильнее, вероятно, говорить лишь об одном центральном типе — Cu—Sn-бронзе, поскольку имеется целый ряд показаний, свидетельствующих о том, что вплоть до очень позднего времени бронзолитейные ремесла не умели ни четко различать свинец и олово, которые считались двумя разновидностями свинца (*plumbum candidum* — олово и *plumbum nigrum* — свинец у Плиния), ни контролировать состав сплавов, включающих оба названных металла [13, с. 80, 84, 91, 186, 191; 36]. Для того чтобы не задерживаться на этом вопросе, требующем специального рассмотрения, укажем, что совокупность данных показывает, что для всего периода, на котором обнаруживается использование колоколотейным ремеслом оловянно-свинцовой бронзы (вплоть до XVI в.), разумно рассматривать свинец и олово как комплексную лигатуру и для количественной оценки

42 34
41 191

БЛАГОУМНО СЛЫШАВЪ КОЛОКОЛЪ СІСТМЮРНЮ ПРИКАЗІ ДМИТРИИ

ГРМОНОВЪ СВЪФІМЬЕМЪ

ДВОКЛАДНО СКОРАКОВЪ

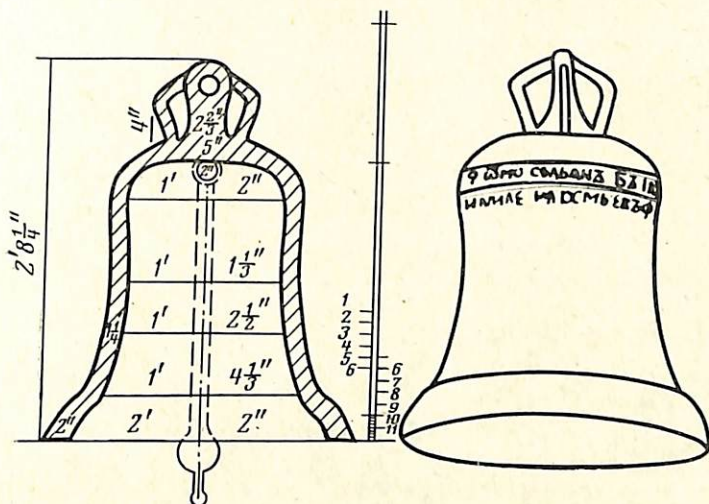


Рис. 5. Колокол 1341 г. собора св. Юра, г. Львов (гравюра XVIII в., Львовский исторический музей)

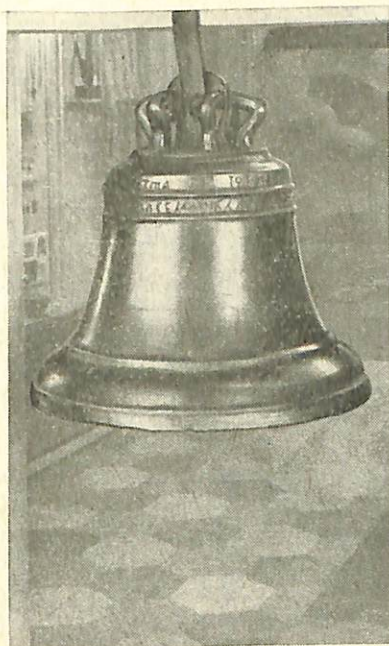


Рис. 6

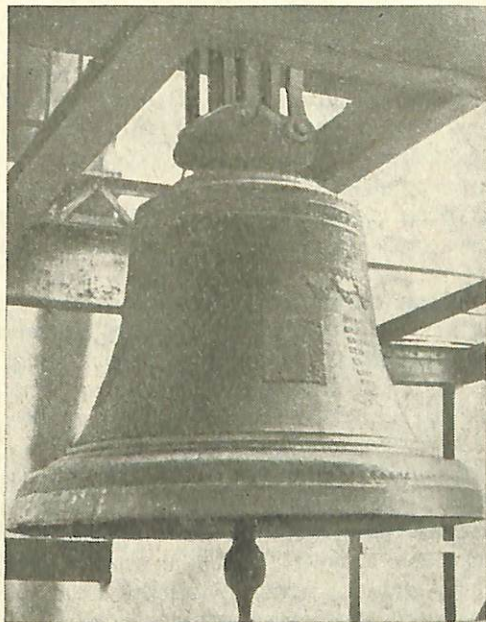


Рис. 7

Рис. 6. Колокол 1556 г. (из собрания Государственного исторического музея, инв. № 46865/4927)

Рис. 7. Колокол Киево-Софийской колокольни (1705 г., Государственный архитектурно-исторический заповедник «Софийский музей»)

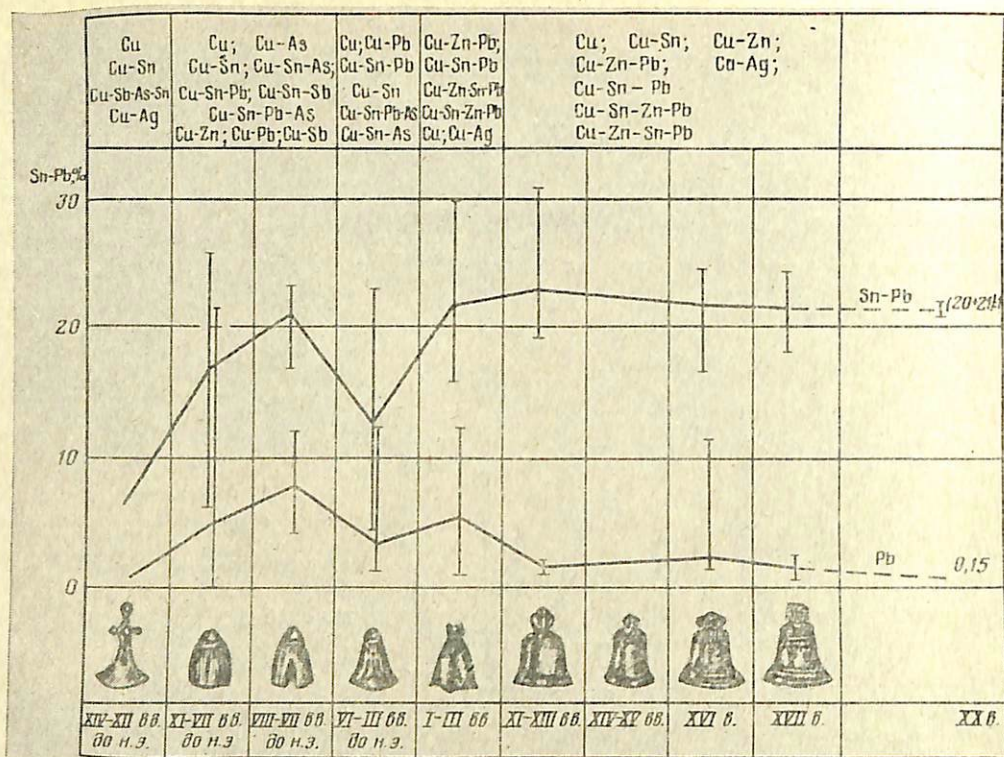


Рис. 8. Изменение состава колокольного сплава во времени (изображения памятников — без сохранения относительного масштаба)

пропорций компонентов сплава оперировать суммой (Sn+Pb) как одним компонентом.

По составу. Сравнение процентного содержания компонентов сплава по отдельно взятым периодам указывает на наличие хронологической эволюции: 1) качественно — в уменьшении доли свинца, 2) статистически — в сужении разбросов и увеличении регулярности распределений, 3) количественно — в изменении соотношения компонентов, заканчивающемся выходом в стабильную область составов в период наивысшего подъема ремесла — XVI—XVII вв.

Таким образом, колоколотейное ремесло, начав с общей металлургии платформы, в процессе эволюции все в большей степени выделялось из общей традиции употребления медных сплавов и удалялось от нее, стремясь к своему собственному решению — разработке вполне определенного сплава — как если бы мы имели лабораторный процесс длиной в 3 тыс. лет, «запрограммированный» на некоторый конечный результат, осуществляемый в целенаправленном поступательном движении коллективного явления — ремесла как целого. Что же представляет собой этот результат? Какова та заданность, которая детерминировала ремесленный поиск?

Здесь нужно сделать небольшое отступление. Историческая форма обращения с материалом в древних ремеслах — это, как известно, рецептурность — практическая ремесленная химия, в этом смысле колоколотейное ремесло ничем не выделяется из других, разве что тем, что имеющиеся письменные источники дают возможность получить представление о конкретных формах этой рецептурности в разные моменты ремесла. Именно внешний технико-металлургический облик ремесленной деятельности — материал как рецепт, внешний примитивизм и догматизм рецептурности создают впечатление того, что ремесло работает с материалом только по принципу стихийного эмпиризма, слепого поиска, случайных удач, посредством механизма ученичества и передачи профессиональных секретов, в условиях плохо организованного технического производства.

Дело, однако, в том, что колокольный рецепт в его конечном виде (Cu — 78—80, Sn — 20—22, примеси ≤ 2%) представляет собой вовсе не типично технический, а ти-

пично физический (металлофизический) объект — один из сплавов системы медь — олово [37, с. 38—40], свойства которого связаны с его фазовым строением — типом, структурой и свойствами промежуточных фаз, образующихся в этой системе, так как то содержание примесей, которое регламентируется конечным рецептом, не дает качественного изменения диаграммы состояния этой системы.

Дело еще в том, что система медь — олово — это одна из важнейших систем физического металловедения, на которых были выработаны основные положения электронной теории металлов и сплавов и по которой, начиная с работ Хейкока и Невилля [38], Юм-Розери [39], Бернала [40] и др., накопилось большое число экспериментальных исследований, так же как теоретических моделей особого поведения образующихся в них металлических соединений (соединений типа металл — металл, иначе называемых интерметаллическими соединениями, или интерметаллидами) [41—43]. Существенным обстоятельством является, наконец, то, что металлические соединения вообще как отдельный класс веществ имеют важное прикладное значение, так как все они являются носителями особых свойств (магнитных, электрических, оптических, механических и т. п.), отсутствующих у обычных металлов, и используются в качестве основы многих промышленных сплавов из-за уникального влияния на свойства обычных материалов [44, 45].

Физический подход в металловедении сплавов на основе меди, однако, пока не привлек внимания историков бронзолитейных производств, интересовавшихся в первую очередь химико-металлургическими, сырьевыми и технологическими аспектами истории металлургии цветных сплавов и только эпизодически фиксировавшими связь между химическим составом и назначением ремесленных изделий. При этом собственная природа исторических бронз как сплавов на основе определенных физико-химических систем с определенным комплексом свойств и отсюда функциональный, предметно-ориентированный аспект ремесла в рассмотрении не закладывались.

Эти соображения, как и те возможности интерпретации, которые они обещали, послужили базой для сообщаемого ниже комплекса исследований по обоснованию исторического рецепта колоколотейного ремесла. Представим кратко его результаты.

1. На нескольких образцах колокольного литья разного времени и происхождения⁴ сделан полный количественный анализ химического и фазового состава методом электронного зонда (рентгеноспектрального микроанализа), показавший [47], что колокольный рецепт в его исторически сложившемся виде фиксирует реальное состояние последнего этапа ремесла: количество примесей даже в худшем случае не выходит за предел 2%; сплав обнаруживает типичную двухфазную структуру меднооловянных сплавов с содержанием олова в области 18—22%; во всех образцах обязательно присутствует α -фаза с составом, близким или соответствующим границе растворимости олова в меди, и δ -фаза (в составе эвтектида ($\alpha+\delta$)), средний расчетный состав которой составляет 67,4 вес. % Cu+32,6 вес. % Sn и отвечает интерметаллическому соединению $Cu_{31}Sn_8$ со сложной кубической решеткой, родственной структурному типу γ -латуни [48].

2. В музыкальном материаловедении [49] для характеристики качества материала для музыкальных инструментов служит так называемая акустическая константа — величина, учитывающая модуль упругости, плотность и внутреннее трение (внутреннее рассеяние энергии колебаний) через выражение $\frac{1}{Q} \sqrt{\frac{E}{\rho}}$, где Q — внутреннее трение, E — модуль Юнга, ρ — плотность материала. Это выражение выведено для резонансного дерева, но оно получено с учетом совокупности общих требований к материалу музыкального инструмента с точки зрения неискаженного и оптимального по мощности излучения и поэтому в виде обобщенного критерия может быть распространено на «резонансный» металл.

⁴ Московский колокол из с. Коломенское (XVIII в.), колокол Звенигородского Саввино-Сторожевского монастыря (вторая половина XVII в.) — один из самых знаменитых в России по звучанию [46], колокол украинского происхождения (XIX в.), колокол, снятый с судна «Александр Грин», современный судовой колокол, образец колокольного литья известной мастерской Шиллингов (авторов Бухенвальдского набата, колокола спортивного форума в Лейпциге и новых концертных гlockenшпилей в Эрфурте, Магдебурге и Карл-Маркс-Штадте).

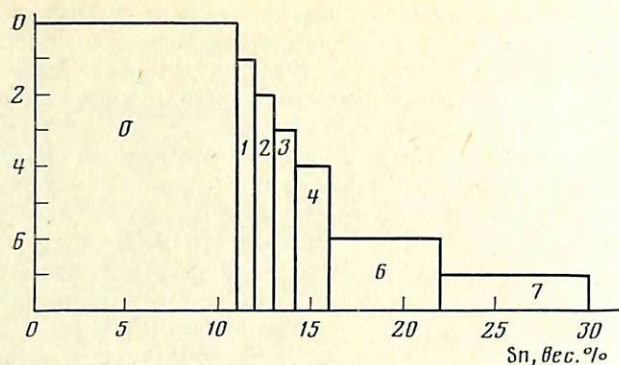


Рис. 9. Пластичность сплавов Cu—Sn (в качестве критерия взят критерий 60% — обжатия без разрушения: «0» — отсутствие трещин, «7» — полное разрушение)

Рассмотрение известных из литературных источников [50, с. 425; 51, 52] данных по физическим свойствам сплавов Cu—Sn обнаруживает резкий концентрационный экстремум всех акустически значимых характеристик — максимум модуля Юнга и плотности, минимум внутреннего трения в области δ -фазы (интерметаллического соединения $\text{Cu}_{31}\text{Sn}_8$). Эти данные показывают, что особые свойства колокольной бронзы как «звучащего», акустически целесообразного сплава связаны со свойствами интерметаллида $\text{Cu}_{31}\text{Sn}_8$. Такое же заключение дает учет известной пропорциональной зависимости между высотой тона колокола и модулем упругости его материала, а также анализ эмпирического соответствия между звучностью (долей энергии удара, трансформируемой в звуковую энергию) и хрупкостью (соединение $\text{Cu}_{31}\text{Sn}_8$ очень хрупко) [52].

С целью проверки этого заключения на реальных колоколах на нескольких из упомянутой выше серии образцов были определены плотность, твердость, модуль Юнга, скорость звука и коэффициент затухания звука [53]. Все измеренные характеристики колокольной бронзы меняются параллельно относительному содержанию δ -фазы, причем этот результат обнаруживается на каждом из акустически значимых свойств сплава, все же остальные факторы — чистота, пористость, размер зерен и т. п. — имеют подчиненное значение. Это означает, что для колокольной бронзы желательна структура, содержащая большое число интерметаллидных частиц, иначе говоря, особые свойства сплава зависят настолько сильно от факторов фазового строения, что металлургическую историю получения можно расценивать как обеспечение возможностей для проявления этих факторов.

3. В связи с тем, что в числе основных требований к материалу колокола являются также требования по механической прочности, на рис. 9 показана концентрационная зависимость⁵ еще одной характеристики меднооловянных сплавов — пластичности: если сплавы, различающиеся содержанием олова, расположить по их способности выдерживать деформацию, не разрушаясь, то окажется, что колокольный сплав — сплав с содержанием одной пятой части олова — попадает почти на границу области допустимой хрупкости. Таким образом, реальный комплекс свойств колокольной бронзы формируется соотношением двух основных фаз: очень хрупкой δ -фазы — носителя акустических свойств сплава и пластичной α -фазы — носителя механических свойств (прочности и износостойкости), при этом выбор состава сплава (рецепт) отвечает оптимальному решению, основанному на реальных структурно-фазовых соотношениях — компромисс между противоречивыми физико-механическими требованиями к сплаву, в пользу главного — звука.

4. Теперь можно указать, что фаза δ (соединение $\text{Cu}_{31}\text{Sn}_8$) со сложной кубической решеткой типа γ -латуни (пространственная группа $F\bar{4}3m$), выделяющаяся сингулярными точками на кривых модуль Юнга — состав, внутреннее трение — состав, плотность — состав сплавов системы Cu—Sn, принадлежит к особой группе металлических соединений — группе так называемых электронных фаз, для которых Юм-Розери [39,

⁵ Построена на основании данных [1, с. 120, 121].

54] сформулировал одно из самых замечательных правил физического металловедения — эмпирическое правило, связывающее возникновение и стабильность электронных фаз с определенным значением электронной концентрации на атом в сплаве, e/a ($3/2$, $21/13$, $7/4$ для соединений со структурами на основе β -, γ - и ϵ -латуни, их представителями в системе Cu—Sn являются электронные соединения Cu_5Sn , $Cu_{31}Sn_8$ и Cu_3Sn соответственно). Правила Юм-Розери, получившие частичное объяснение в рамках зонной модели электронной теории металлов [42, 43, 55], устанавливают связь между соотношением электронов и атомов в фазах, кристаллической структурой фаз и их физическими свойствами. Так, в частности, металлические соединения со структурой γ -латуни имеют необычную гигантскую кубическую решетку с 52 атомами на элементарную ячейку и отличаются значительной устойчивостью упорядоченного расположения атомов [56], причем в δ -фазе этот эффект выражен в еще большей степени, соответствуя распространению порядка на расстояние, удвоенное по сравнению с типичным для γ -фаз (сверхгигантская решетка с 416 атомами и постоянной $17,95 \text{ \AA}$ [57]); очень существенно также, что все изученные фазы со структурой γ -латуни [58] выделяются аномалиями на концентрационных кривых акустических характеристик — все они обладают высокими упругими свойствами при низкой демпфирующей способности и, по-видимому, в той или иной степени также являются «звучащими» фазами.

В интересующем нас контексте — историческая колокольная бронза как феномен интерметалличности на основе «звучащего» электронного соединения с $e/a = 21/13$ и феномен исключительно сильного эстетического воздействия на человека — фактор электронной концентрации может быть рассмотрен и под иным углом зрения — как эстетический критерий, так как отношение числа валентных электронов к числу атомов $21:13$ представимо отношением членов известного ряда чисел Фибоначчи (1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, 34, 55 и т. д.), связанного с золотым делением ($21:13 = 1,615 \approx 1,618$). При этом фактор электронной концентрации (условие существования фазы с данной кристаллографической структурой и данными физическими свойствами) получает смысл реализации принципа золотого деления, принципа гармонического распределения частей внутри целого как фактор гармонического сопряжения взаимодействий электронной и атомной подсистем в системе химической связи соединения.

Принцип золотого деления разрабатывался со времен древнегреческой науки как принцип гармонического деления целого на свои подобия на основе взаимопроникающей соразмерности и утвердился в теории искусства, в теории архитектуры в наиболее разработанном виде, как принцип геометрического пропорционального деления пространства и закон пространственной формы в ее эстетических и технологических аспектах. С одной стороны, утилитарность, целесообразность, устойчивость конструкции, с другой — пластичность, изобразительность, красота формы, достигаемые хорошо найденными пропорциями и учетом роли каждого конструктивного элемента.

Примерно со второй половины XIX в. правило золотого деления стало выясняться как математический закон формы в значительно более широком охвате явлений: закон органической формы, закон художественной формы (музыкальной, поэтической, изобразительной), как собственный принцип формообразования, взятый в аспекте структуры целого, — когда «произведение искусства — искусственное произведение — построено по тем же законам, по которым построены явления неискусственные — „органические“, явления природы», когда «единая закономерность пронизывает не только общее и каждую его часть, но и каждую область, призванную соучаствовать в создании целого. Одни и те же принципы будут питать любую область, проступая в каждой из них своими собственными качественными отличиями. И только в этом случае можно будет говорить об органичности произведения...» — «Где речь идет об органичности, там... ищи золотое сечение в пропорциях» [59, с. 44—46, 57].

Этот факт нам и хотелось отметить как примечательный — то, что эстетический канон, закон композиции и формы, соединение пользы и красоты обнаруживается в качестве одного из «магических чисел» электронной теории металлов («фактор электронной концентрации e/a оказался магическим параметром, который навел порядок в экспериментальных данных по сплавам благородных металлов» [43, с. 13]), причем именно в области явлений художественной, музыкальной природы. Для специализированной области (в данном случае физики металлических соединений) представляет интерес то, что систематизирующий момент ее эмпирической базы выступает отзвуком

иерархического единства организованной материи, для эмпирического знания — (в данном случае художественного ремесла), что «искусство как образная форма познания и моделирования мира должно отражать и действительно отражает его структурную основу» [60, с. 297].

Интерметаллические соединения на основе δ -фазы с $e/a=21/13$ возникают в чрезвычайно ограниченном количестве систем при взаимодействии ограниченного круга металлов [42]. По-видимому, в полном смысле слова они являются «избранными природой», и не случайно колокольная бронза заслужила поэтический эпитет «венец металла» (Шиллер). Решение колокололитейного ремесла действительно поражает воображение. Вместо устранения хрупкости введением легирующих добавок за счет неизбежной утраты собственных свойств — простая изящная идея: чистота, т. е. устранение побочных эффектов, и стабилизация хрупкой несущей фазы пластичной матрицей на той же основе, т. е. полная реализация наличных физико-химических возможностей вещества. Но поиск именно этих возможностей отмечен на пути колокололитейного ремесла его компиляторами и теоретиками: «Прежде всего, предостереги того, кто должен делать или отливать кимвалы..., что он должен также предусмотреть, чтобы кимвалы имели правильный тон, и для этого медь и олово смешиваются перед литьем. Если он будет делать кимвалы как-либо иначе, то они не будут звучать. Пятую или шестую часть должно составлять олово, обе составляющие должны быть очищены, прежде чем они будут смешаны, с тем, чтобы они хорошо звучали» [17, с. 175]; «Опыт показал, что лучший материал должен состоять из 3, 4 или 5 частей чистой, или красной меди на одну часть корнуэльского, или английского олова. Колокольные мастера дают 20 фунтов олова на 100 фунтов меди, но эта практика, по-видимому, допускает большую свободу, так как часовщики кладут одну треть олова в колокола для курантов, что делает их очень звучными, другие же литейщики дают тем больше олова, чем более прекрасный звук они стараются получить. Однако во всем этом деле нужна большая осторожность, так как если в сплаве слишком много олова, то колокол может разбиться, а если в нем слишком мало олова, то колокол будет звучать, как котел» [20, с. 4]; «Сплав должен быть составлен таким образом, чтобы вместе с приятным звуком соединял достаточную жесткость и крепость. Обыкновенно для сплава берут 80 частей меди и 20 частей олова, хотя эти цифры часто колеблются, смотря по чистоте металлов» [25, с. 380].

Колокольная бронза представляет собой пример первоклассного металлургического решения, основанного на физико-химических принципах, и уникальный феномен преломления физической и эстетической природы материала, созданного человеком, в фактах истории науки и истории культуры.

Литература

1. Сучков Д. И. Медь и ее сплавы. М.: Металлургия, 1967.
2. Ledebur A. Die Legierungen in ihrer Anwendung für gewerbliche Zwecke. B., 1890.
3. Weissenböck A., Pfundner J. Tönendes Erz. Graz-Köln, 1961.
4. Ellerhorst W. Handbuch der Glockenkunde. Weingarten, 1957.
5. Havard H. Les bronzes d'art et d'ameublement. Paris, s. a.
6. Brownsword R., Pitt E. H. Medieval «Bell-Metal» Mortars — a Misnomer. — Met. and Mater. Technol., 1981, v. 13, № 4.
7. Dictionnaire des antiquités grecques et romaines d'après les textes et les monuments, sous la direction de Ch. Daremberg et Edm. Saglio. P., T. 1, p. 2.
8. Финдейзен Н. Очерки по истории музыки в России с древнейших времен до конца XVIII века. Т. 1. М.-Л.: Музсектор, 1928.
9. Фрезер Дж. Фольклор в ветхом завете. М.: Соцэкгиз, 1931.
10. Рубцов Н. Н. История литейного производства в СССР. Ч. 1. 2-е изд. доп. и перераб. М.: Госнаучтехиздат, 1962.
11. Петриченко А. М. Книга о литье. Киев: Техника, 1972.
12. Needham J. Science and Civilisation in China. V. 4. Physics and Physical Technology. Physics. Cambridge, 1962, p. 1.
13. Aitchison L. A History of Metals. V. 2. L., 1960.
14. A History of Technology. V. 2. The Mediterranean Civilisations and the Middle Ages/Ed. by Ch. Singer, E. J. Holmyard, A. R. Hall and T. I. Williams. Oxford, 1957.
15. Петриченко А. М. Искусство литья. М.: Знание, 1975.
16. Пухначев Ю. В. Загадки звучащего металла. М.: Наука, 1974.
17. Манускрипт Теофила «Записка о разных искусствах». — Сообщения ВЦНИЛКР, 1963, вып. 7.

18. Le Cheou-Li ou Rites des Tcheou. Traduit du chinois par E. Biot. T. 2. Paris, 1851.
19. *Biringuccio V.* The Pirotechnia. Transl. from the Italian with an Introduction and Notes by C. S. Smih and M. T. Gnudi. N. Y., 1943.
20. *Mersenne M.* Harmonie Universelle. Paris, 1636. Livre 7. P.: Ed. C. N. R. S., 1963.
21. An Account of a New Catadioptrical Telescope Invented by Mr. Newton: Phil. Trans., 1672, v. VII.
22. Encyclopédie ou Dictionnaire Raisonné des Sciences, des Arts et des Métiers par une Société de Gens de Lettres. Mis en ordre et publié par Diderot et quant à la partie mathématique par d'Alembert. P., 1753.
23. *Larousse P.* Grand Dictionnaire Universel du XIX Siècle. P.
24. *Guettier A.* La Fonderie en France. P., 1882.
25. *Оловяничников Н.* История колоколов и колоколотейное искусство. М., 1912.
26. *Кнаббе В. С.* Литейное дело. Т. VI, ч. 6. СПб., 1900.
27. *Смирязин А. П., Смирязина Н. А., Белова А. В.* Промышленные цветные металлы и сплавы. М.: Металлургиздат, 1974.
28. ГОСТ 8117-74. Колокола судовые.
29. *Черных Е. Н.* Древнейшая металлообработка на Юго-Западе СССР. М.: Наука, 1976.
30. *Барцева Т. Б.* Цветная металлообработка скифского времени. М., Наука, 1981.
31. *Барцева Т. Б., Вознесенская Т. А., Черных Е. Н.* Металл Черняховской культуры. М.: Наука, 1972 (МИА, № 187).
32. *Барцева Т. Б.* Цветная металлообработка на Северном Кавказе в раннем железном веке: Автореф. дис. на соискание уч. ст. канд. ист. наук. М.: Ин-т археологии АН СССР, 1974.
33. *Кашкай М. А., Селимханов И. Р.* Из истории древней металлургии Кавказа. Баку: Элм, 1973.
34. *Коновалов А. А.* Цветной металл (медь и ее сплавы) в изделиях Новгорода X—XV вв.: Автореф. дис. на соискание уч. ст. канд. ист. наук. М.: МГУ, 1974.
35. *Калиш М. К.* Естественные защитные пленки на медных сплавах. М.: Металлургия, 1971.
36. *Рагимова М. Н.* Из истории использования свинца в древнем и средневековом Азербайджане. Баку: Элм, 1978.
37. Двойные и многокомпонентные системы на основе меди. М.: Наука, 1979.
38. *Heuscock C. T., Neville F. H.* On the Constitution of the Copper-Tin Series of Alloys.—Phil. Trans., 1903, v. 202, p. 346.
39. *Hume-Rothery W.* Researches on the Nature, Properties and Conditions of Formation of Intermetallic Compounds with Special Reference to Certain Compounds of Tin.—J. Inst. Metals, 1926, v. 5.
40. *Bernal J. D.* The Complex Structure of the Copper-Tin Intermetallic Compounds.—Nature, 1928, v. 122, № 3036.
41. *Mott N. F., Jones H.* The Theory of the Properties of Metals and Alloys. Oxford, 1936.
42. *Hume-Rothery W., Bettleton J. O., Reynolds J.* The Factors Affecting the Formation of 21/13 Electron Compounds in Alloys of Copper and Silver.—J. Inst. Metals, 1951, 1952, v. 80.
43. *Massalski T. B., King H. W.* Alloy Phases of Noble Metals.—Progr. Mater. Sci., 1961, v. 10.
44. Интерметаллические соединения. М.: Металлургия, 1970.
45. *Савицкий Е. М.* Перспективы развития металловедения. М.: Наука, 1972.
46. *Кондрашина В. А., Шашкина Т. Б.* Большой колокол Саввино-Сторожевского монастыря как научно-технический памятник Древней Руси.—В кн.: Памятники науки и техники. М.: Наука, 1981.
47. *Миркин А. Е., Шашкина Т. Б., Чумаченко А. А.* Электронно-зондовый анализ исторической колокольной бронзы.—Тезисы VIII Всесоюз. конф. по локальным рентгеноспектральным исследованиям и их применению. Черноголовка, 1982.
48. *Pearson W. B., Brandon J. K., Brizard R. Y.* The Gamma-brasses.—Z. Kristallogr., 1976, v. 143.
49. *Новодержкин А. В.* Материаловедение (материалы для производства музыкальных инструментов). М.: Легкая индустрия, 1971.
50. Техническая энциклопедия. Т. 2. М.: Сов. энциклопедия, 1925.
51. *Speidel M. O., Warlimont H.* Festigkeit und Verformungs-Verhalten martensitisch umgewandelter Kupferlegierungen.—Z. Metallk., 1968, B. 59.
52. *Portevin A., Guillet L.* Frottement interne des alliages métalliques.—Comptes Rendus, 1946, t. 223.
53. *Шашкина Т. Б., Чумаченко А. А., Лященко А. Б.* О фазовом строении звучащей бронзы.—Изв. вузов. Цветная металлургия, 1983, № 2.
54. *Юм-Розери В., Рейнор Г. В.* Структура металлов и сплавов. М.: Госнаучтехиздат, 1959.
55. *Джонс Г.* Теория зон Бриллюэна и электронные состояния в кристаллах. М.: Мир, 1968.
56. *Мелихов В. Д., Пресняков А. А.* Строение и свойства электронных фаз. Алма-Ата: Наука, 1973.

57. Knödler H. Über Kristallstruktur und strukturellen Zusammenhang der Phasen δ und γ im System Kupfer-Zinn.— Metall, 1964, 18 Jg, H. 11.
58. Гийе Л., Рюа Р. Упругость.— В кн.: Интерметаллические соединения. М.: Металлургиздат, 1970.
59. Эйзенштейн С. М. Избранные произведения. Т. 3. М.: Искусство, 1964.
60. Шубников А. В., Коцник В. А. Симметрия в науке и искусстве. 2-е изд. перераб. и доп. М.: Наука, 1972.

ИСТОРИЯ МАТЕМАТИКИ ИЛИ ИСТОРИЯ МАТЕМАТИК?

Ф. А. МЕДВЕДЕВ

Вопрос в заголовке представляет собой преобразование вопроса «Математика или математики?» в названии первого раздела статьи Н. Бурбаки «Архитектура математики» [1, с. 245—259]. Второй из этих вопросов неоднократно ставился и по-разному решался в ходе развития математики, но, пожалуй, преобладающим было и в значительной мере остается до настоящего времени убеждение ученых в том, что математика является единой, целостной наукой. Такой ответ на него дает, в частности, Н. Бурбаки в упомянутой статье; большинство философов придерживаются того же мнения, и, например, Г. Б. Аркелян утверждает, что математика, в отличие от других наук, может служить «превосходным, хотя, возможно, и несовершенным образцом унифицированного знания» [2, с. 75]; подобных примеров можно привести много.

Тем не менее сомнения в единственности математики, в ее целостности, унифицированности возникают все вновь и вновь, и помимо указанных Бурбаки [1, с. 246] powodов для подобных сомнений можно отметить такие факты, как построение неевклидовых геометрий, разработка различных аксиоматик теории множеств, создание формалистской, интуиционистской и конструктивистской математик, доказательства непротиворечивости и независимости гипотезы континуума и аксиомы выбора, введение большого числа формально-аксиоматических систем или исчислений, а также своего рода неудачи в предпринимавшихся попытках унификации математики вроде программы арифметизации математики, ее теоретико-множественной перестройки и т. д. Появляются представления о множественности математики и даже о бесконечно многих математиках [3, с. 10—11]. Более того, высказываются мнения, что неунифицированными являются даже отдельные математические дисциплины; в отношении математического анализа это определенно выразил П. Р. Халмош [4, с. 7—8].

То или иное решение общего вопроса о характере математики в указанном аспекте имеет прямое отношение к целям и направлениям историко-математических исследований, к способам их проведения и их результатам.

Действительно, если математика является единой наукой, развивается как нечто целостное, то и ее история должна быть отражением этой целостности. Возникающие в математике проблемы должны иметь единственно правильные решения, и они-то главным образом должны интересовать историка математики. Подходы к решению этих проблем, способы их решения могут быть, разумеется, нередко ошибочными, но они отбрасываются в ходе последующих поисков или в лучшем случае используются как сырье для получения истинных решений.

Вследствие отмеченного преобладания представления о целостности математики именно оно оказало решающее влияние на взгляды историков математики. Так, А. П. Юшкевич определенно писал: «Дифференциация математики не влекла за собой утраты единства этой науки. Напротив, по мере возникновения новых ее отделов усиливались внутренние связи между ними, понятия и методы одних областей плодотворно применялись в других. Математика развивалась как единое целое» [5, с. 13].

Однако указанные сомнения дают повод иначе взглянуть и на историю математики. Действительно, если математика не единая наука, а совокупность или система разных, в некоторых отношениях равноправных теорий или научных дисциплин, то одна и та же проблема может оказаться решаемой совершенно разными способами или, как вы-

разился Ю. Л. Ершов, «для описания одного и того же фрагмента реальности можно предложить огромное количество формальных систем» [6, с. 87]. Слова Ю. Л. Ершова можно отнести не только к тем жестко-формальным системам, которые он имел в виду: с аналогичной ситуацией математики столкнулись, в частности, после построения неевклидовых геометрий. Но тогда задачи историков математики становятся во многом иными. И «ошибочные» или «сырые», с точки зрения представителей первого взгляда, решения могут оказаться представляющими первостепенный интерес.

Различие указанных подходов можно проиллюстрировать таким примером.

Известно, что на протяжении по меньшей мере 200 лет математический анализ строился с помощью довольно нечетких, с точки зрения представителя классического анализа, соображений о бесконечно малых и бесконечно больших величинах. Затем наступил период предельной перестройки анализа, и лишь после этого данная наука стала рассматриваться как обосновываемая достаточно строго: «...в учебниках Коши мы, наконец-то, находимся на твердой почве» [1, с. 207]. Прежние инфинитезимальные представления были, казалось, постепенно отброшены, и для историка они выступали в лучшем случае как эвристические приемы, но не как часть аппарата строгих рассуждений; они отодвигались, так сказать, в предысторию собственно анализа.

Создание нестандартного анализа в середине нынешнего столетия (А. Робинсон и др.) привело к тому, что не только произошла в известном смысле реабилитация прежних представлений о бесконечно малых и бесконечно больших величинах, но и появилась математическая дисциплина, конкурирующая с классическим анализом и даже претендующая на превосходство перед ним в некоторых отношениях. И теперь историк анализа XVII—XVIII вв. уже не может квалифицировать инфинитезимальные процедуры как не вполне удачные, нестрогие приемы решения математических задач. Они выступают как составные части способов рассуждений в рамках *другой* теоретической конструкции, а потому приобретают гораздо больший вес, самостоятельный интерес, претендуют на значительно большее внимание историка науки.

Можно думать, что так обстоит дело не только с анализом, но и с другими математическими дисциплинами.

Литература

1. Бурбаки Н. Очерки по истории математики. М.: Изд-во иностр. лит., 1963.
2. Аракелян Г. Б. О доказательстве в теоретико-множественной и формалистской системах унификации математики.— В кн.: Философские вопросы современного естествознания. Ереван: Изд-во АН АрмССР, 1977, с. 73—115.
3. Dieudonné J. Preface.: Dugas P. Richard Dedekind et les fondements des mathématiques (avec de nombreux textes inédites). P.: Vrin, 1976, p. 9—11.
4. Halmos P. R. Wie schreibt man mathematische Texte. Lpz: Teubner, 1877.
5. История математики с древнейших времен до начала XIX столетия. В 3-х т./Под ред. Юшкевича А. П. Т. 3. М.: Наука, 1972.
6. Ершов Ю. Л. Некоторые вопросы применения формализованных языков для исследования философских проблем.— В кн.: Методологические проблемы математики. Новосибирск: Наука, Сибирское отделение, 1979, с. 83—89.

НОВЫЕ ПУТИ В ГИДРОСТРОЕНИИ

(Из истории строительства Нижнесвирской ГЭС)

В. Г. АФАНАСЬЕВ (Ленинград)

В конце декабря 1933 г. дала промышленный ток первая турбина Нижнесвирской гидроэлектростанции под Ленинградом. В приветственной телеграмме гидростроителям первый секретарь Ленинградского губкома ВКП(б) С. М. Киров писал: «Вы встречаете исторический XVII съезд нашей партии крупнейшей победой. Обуздав быструю Свирь, победив девон, перед которым пасовали лучшие специалисты капиталистических стран, вы открыли новую славную страницу советской гидротехники, вы еще раз блестяще показали, какие чудесные дела могут творить трудящиеся Советской страны...»¹.

¹ Ленинградская правда, 1933, 22 дек.