

**ИЗВЕСТИЯ КАБАРДИНО-БАЛКАРСКОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА**

**PROCEEDING OF THE KABARDINO-BALKARIAN
STATE UNIVERSITY AFTER H.M. BERBEKOV**

№ 1

2010

Учредитель: Кабардино-Балкарский государственный
университет им. Х.М. Бербекова (КБГУ)

Главный редактор **Б.С. КАРАМУРЗОВ**
Первый зам. главного редактора **А.П. САВИНЦЕВ**
Зам. главного редактора **С.К. БАШИЕВА**
Зам. главного редактора **Х.Б. ХОКОНОВ**
Зам. главного редактора **А.А. ШЕБЗУХОВ**
Зам. главного редактора **Г.Б. ШУСТОВ**
Зам. главного редактора **М.М. ЯХУТЛОВ**
Ответственный секретарь **М.Ч. ШОГЕНОВА**

Редакционная коллегия:

Волков Ю.Г., Гуфан Ю.М., Дзамихов К.Ф., Карлик А.Е.,
Матузов Н.И., Радченко В.П., Радченко О.А., Рубаков В.А., Фельдштейн Д.И.,
Фортов В.Е., Хавинсон В.Ц., Хохлов А.Р., Хуснутдинова Э.К.

Адрес редакции: 360004. г. Нальчик, ул. Чернышевского, 173

Телефоны: (88662) 722313
Е-mail: rio@kbsu.ru

Уважаемый читатель!

Настоящий журнал является первым выпуском, предваряющим издание нового журнала «Известия Кабардино-Балкарского государственного университета».

КБГУ образован в 1957 году в г. Нальчике на базе пединститута, открытого в 1932 году. В 1982 году в честь 50-летнего юбилея университет был награжден орденом Дружбы народов за заслуги в подготовке квалифицированных специалистов и развитии научных исследований.

Сегодня в КБГУ сконцентрирован значительный кадровый, научный, материально-технический, культурный, информационный и экономический потенциал. Свою миссию КБГУ определяет как федеральный центр образования, науки, культуры, информации и просвещения.

В 2003 году КБГУ награжден Золотой медалью Российско-швейцарского бизнес-клуба «За безупречную деловую репутацию», в 2005 году отмечен премией Правительства России в области образования, в 2007 году за высокое качество подготовки специалистов получил Свидетельство о сертификации и включен в реестр Торгово-промышленной палаты Российской Федерации, а также отмечен Почетным дипломом Европейской бизнес-ассоциации. В 2010 году университет награжден почетным дипломом лауреата Всероссийского конкурса «100 лучших организаций России в области науки и образования».

В официальном рейтинге Министерства образования и науки Российской Федерации (сформированном по результатам мониторинга, проводимого МОН РФ) по итогам 2004–2008 годов КБГУ занимает место в 1-й десятке и возглавляет рейтинг классических университетов субъектов, вошедших в Северо-Кавказский федеральный округ.

В настоящее время КБГУ является университетским комплексом и представляет собой новый тип учебного заведения, в котором объединены разнопрофильные и разноуровневые образовательные учреждения, реализующие образовательные программы высшего, среднего, послевузовского и дополнительного профессионального образования. В КБГУ реализована модель университетского комплекса со статусом единого юридического лица.

В КБГУ научно-исследовательская работа ведется по 6 приоритетным направлениям развития науки, технологии и техники РФ (из 8 обозначенных направлений), 22 критическим технологиям России (в рамках списка критических технологий РФ, утвержденного Президентом Российской Федерации), 20 отраслям науки.

В настоящее время к научным исследованиям в КБГУ привлечены 3 действительных члена РАН, 3 члена-корреспондента РАН, 1 действительный член РАО, 5 Заслуженных деятелей науки РФ, 40 Заслуженных деятелей науки КБР, 188 докторов наук, 618 кандидатов наук, 22 докторанта, 375 аспирантов.

В новом журнале планируется публиковать статьи на русском или английском языке, содержащие результаты актуальных фундаментальных и прикладных исследований, научных и научно-методических работ.

В многоотраслевом журнале планируется вести ряд разделов: физика, математика, химия, биология, медицина, история, филология, экономика, юриспруденция и др.

Ректорат КБГУ рассматривает выпуск нового журнала как один из эффективных способов реализации важнейших стратегических задач, стоящих перед вузом в области образования и науки. Выполнение этой важной функции в решающей степени зависит от того, как преподаватели и сотрудники вуза, его структурные подразделения и внешние авторы будут поддерживать журнал, представлять для публикации в журнале интересные материалы и предложения, рекламировать его издание, делать все возможное, чтобы журнал «Известия Кабардино-Балкарского государственного университета» не уступал лучшим изданиям аналогичного профиля.

В будущих номерах журнала планируется также издание официальных материалов, информационных сообщений и рекламы.

Редакционная коллегия журнала сердечно поздравляет коллектив Кабардино-Балкарского государственного университета с выпуском нового издания.

Главный редактор журнала
«Известия Кабардино-Балкарского
государственного университета»
ректор КБГУ профессор

Карамурзов Барасби Сулейманович

СОДЕРЖАНИЕ

Обращение к читателю	
ФИЗИКА	
Х.Б. Хоконов, Б.С. Карамурзов, Б.Б. Алчагиров, Т.М. Таова, Ф.М. Мальсургенова. Поверхностные свойства щелочных металлов и сплавов их двойных и тройных систем	3
З.А. Шебзухов, М.А. Шебзухова, А.А. Шебзухов. Поверхностное натяжение и поверхностная энергия металлических наночастиц	17
Б.Б. Алчагиров, Л.Х. Афаунова, З.А. Кегадуева, Р.Х. Архестов, Т.М. Таова, Х.Б. Хоконов. Поверхностное натяжение сплавов системы натрий–калий	59
А.А. Дышеков. Нестандартный подход к динамической теории рассеяния волн рентгеновского диапазона	66
А.П. Савинцев. Действие электронных и лазерных пучков на полиэтилен	85
Г.В. Дедков, А.А. Кясов. О радиационном теплообмене металлических частиц	90
С.П. Тимошенко, Д.С. Гаев, А.Н. Бойко, Н.М. Горшкова. Исследование морфологии наноструктурированных пленок на основе титана, полученных методом магнетронного распыления	95
З.В. Шомахов, О.А. Молоканов, С.К. Кулов, А.М. Кармоков. Температурная зависимость и кинетика электропроводности свинцово-силикатного стекла с87-2	102
ХИМИЯ	
В.Ю. Бузько, Г.Ю. Чуйко, Х.Б. Кушхов. Некоторые особенности сольватации ионов La(III) и Lu(III) в хлоридных расплавах по данным <i>ab initio</i> расчетов	109
С.Ю. Хаширова, Ю.И. Мусаев, Э.Б. Мусаева, Н.А. Сивов, М.Х. Лигидов, А.К. Микитаев. Синтез и исследование новых материалов на основе целлюлозы и гуанидинсодержащих соединений	119
ФИЛОЛОГИЯ	
Р.С. Аликаев, М.Р. Аликаева. Жанрово-стилистический архетип научной речи и его вариации	127
Е.А. Балова. Риторический вопрос в качестве вопросительного сегмента вопросно-ответной конструкции	140
ИСТОРИЯ	
Х.Б. Мамсиров. Этнокультурный контекст модернизации на Северном Кавказе: опыт и уроки	145
К.Ф. Дзамихов. Кабарда в политике России на Кавказе в XVI–XVIII вв.: источниковедческая база исследования	154
А.Х. Боров. Методологические проблемы синтеза в изучении региональной истории	166
Е.Г. Муратова. Русские делопроизводственные материалы xvii века о Балкарии и балкарцах	181
Р.Ж. Бетров. Адыги в античную эпоху и в период раннего средневековья (некоторые проблемы этнокультурных связей)	187
ЭКОНОМИКА	
Р.Т. Жамбекова. Теоретические основы управленческой деятельности	203
М.В. Аликаева, Ю.С. Крюкова. Механизм обеспечения эффективного функционирования региональной системы государственных закупок товаров (работ, услуг)	208
Л.О. Асланова, А.Р. Закуреев. Конкурентоспособность рабочей силы как основной фактор инновационного экономического роста	218
А.Х. Шидов, С.А. Шидов. Формирование конкурентной стратегии развития регионального агропромышленного комплекса	224
ЮРИСПРУДЕНЦИЯ	
М.Х. Гукешоков. О конфедеративном характере государственных объединений	235
М.В. Дышеков. Проблема идентификации правового статуса княжеско-дворянских сословий Кабарды во второй половине XIX–нач. XX вв.	239
Правила оформления статей	246

ФИЗИКА

УДК 539.64:539.21

ПОВЕРХНОСТНЫЕ СВОЙСТВА ЩЕЛОЧНЫХ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ ИХ ДВОЙНЫХ И ТРОЙНЫХ СИСТЕМ

Х.Б. Хоконов, Б.С. Карамурзов, Б.Б. Алчагиров, Т.М. Таова, Ф.М. Мальсургенова

Экспериментально и расчетно-графическим методом определены значения плотности и поверхностных натяжений более 130 тройных сплавов систем Na–K–Cs, составленных вдоль трех групп сечений, идущих к вершинам K, Cs и Na концентрационного треугольника. Измерения плотности проводились пикнометрическим методом, а поверхностного натяжения – методом большой капли в диапазоне температур 293–553 К. Относительная погрешность определения плотности – около 0,15 %, ПН – около 1,5 % при доверительной вероятности 95 %. Построены политермы и изотермы плотности, поверхностного натяжения и мольных объемов тройных сплавов в изученных интервалах температур.

Определены плотность (ρ), мольные объемы (V) и поверхностное натяжение (σ) тройного эвтектического сплава в температурном диапазоне 200–450 К, значения которых при 373 К, составляют $1406 \text{ кг}\cdot\text{м}^{-3}$, $54,62\cdot 10^{-6} \text{ м}^3\cdot\text{моль}^{-1}$ и $77,0 \text{ мН}\cdot\text{м}^{-1}$; при эвтектической температуре 195,2 К соответственно $1482,8 \text{ кг}\cdot\text{м}^{-3}$, $51,73\cdot 10^{-6} \text{ м}^3\cdot\text{моль}^{-1}$ и $81,1 \text{ мН}\cdot\text{м}^{-1}$.

In this work we present the density and the surface tension for more than 130 ternary alloys prepared along sections that are directed toward the K, Cs and Na vertices of the concentration triangle of Na–K–Cs system. Our data were determined by means of the experimental as well as the calculation and graphical methods. The measurements of the density and the surface tension were fulfilled by the pycnometric and the «sessile – drop»/

э methods accordingly in the temperature range from 293 to 553 K. The relative errors in measuring the density and the surface tension are about 0.15 % and 1.5 % conformably.

Polytherms and isotherms of the density, surface tension and molar volumes for the ternary alloys within the studied temperature ranges were constructed.

The density, molar volumes and surface tension of the eutectic alloy of the Na–K–Cs system within the temperature range from 200 to 450 K were calculated as well.

Введение

Жидкие щелочные металлы, их сплавы и соединения с их участием обладают уникальными для металлических систем физико-химическими свойствами: самой низкой плотностью и вязкостью, высокой тепло- и электропроводностью, низкими значениями поверхностного натяжения и работы выхода электрона, рекордно низкой температурой плавления и широкой областью жидкого состояния, высокой химической активностью и большой упругостью собственных паров и т.д. Эти уникальные свойства обеспечивают благоприятные условия для их широкого практического применения. Так, щелочные металлы, сплавы и соединения с их участием находят применение в ядерно-космической энергетике и тепловых трубах как легкие эффективные теплоносители, обеспечивающие ускоренный отвод тепла и передачу его потребителю с высоким коэффициентом, достигающим 75 % в ядерной энергетике (вода как теплоно-

ситель при 200 °С имеет КПД меньше 40 %); в области химических источников тока – как аккумуляторы, топливные элементы с высокой удельной энергоемкостью, надежностью, долговечностью и миниатюрностью; в авиакосмическом материаловедении – как сверхлегкие композиционные материалы с высокой механической прочностью, тепловой и химической стойкостью, повышенной пластичностью; в радиационной физике – как эффективная защита от тепловых нейтронов и γ -излучений (сплав LiPb превосходит свинец по защите в 10^4 раз); как высококалорийная добавка к жидким топливам для повышения удельной теплоты сгорания, и т.д.

С другой стороны, хотя высокая химическая активность и большая упругость собственных паров значительно осложняют исследование их физико-химических свойств, изучению свойств щелочных металлов и их двойных сплавов посвящено много работ.

Плотность, поверхностное натяжение, работа выхода электрона и другие свойства щелочных металлов и сплавов их бинарных систем изучены подробно. Исключение – слабое исследование свойств сплавов бинарных систем с участием лития. Что же касается изучения свойств сплавов тройных систем щелочных металлов, то в литературе до наших исследований имелись результаты экспериментального определения плотности всего для трех тройных сплавов системы Na–K–Cs.

Плотность и поверхностные свойства жидких щелочных металлов и их двойных сплавов

Экспериментальное исследование свойств жидких щелочных металлов и их многокомпонентных сплавов сопряжено с большими трудностями, связанными прежде всего с их высокой химической активностью и упругостью собственных паров. Тем не менее, исследованиям свойств щелочных металлов и их двойных сплавов посвящено много работ. Изучены подробно физико-химические свойства щелочных металлов Na, K, Rb, Cs и сплавов шести их бинарных систем в широких интервалах температур [1–3]. Мало исследований сплавов бинарных систем с участием лития.

Диаграммы фазового состояния двойных систем щелочных металлов (ЩМ) представлены в работах [3–5]. Двойные системы Na–K, Na–Rb и Na–Cs образуют фазовые диаграммы эвтектического типа с перитектикой. В литературе отмечается наличие химических соединений Na_2K , Na_2Rb и Na_2Cs [3, 4], плавящихся инконгруэнтно при перитектической температуре.

В системе Na–K обнаруживается существование твердых растворов в узкой области концентраций на базе Na и K. Отметим, что сплавы указанных систем являются существенно неидеальными растворами.

Сплавы систем K–Rb, K–Cs и Rb–Cs, ионные радиусы компонентов которых не имеют заметного различия, образуют фазовые диаграммы типа «двойной сигары» с минимумом температуры плавления. Они характеризуются наличием непрерывного ряда твердых растворов, являются регулярными растворами.

Мало изучены диаграммы состояния и свойства тройных систем ЩМ. Построена подробная диаграмма плавкости только для системы Na–K–Cs (рис. 2) [6]. Температура плавления эвтектического сплава системы Na–K–Cs 195,2 К является самой низкой температурой плавления из всех известных металлических сплавов, причем эвтектический сплав Na–K–Cs остается в жидком состоянии в любых земных условиях. Для тройных систем Na–K–Rb, Na–Rb–Cs и K–Rb–Cs определены минимальные температуры кристаллизации сплавов на базе диаграмм состояния граничных двойных систем треугольников составов, которые равны соответственно 248, 236 и 235 К.

Плотность жидких щелочных металлов и сплавов их двойных и тройных систем измерялась усовершенствованными нами ареометром [1] и двухкапиллярным пикнометром [7], ПН – методом большой капли [14], конструкции которых и процедуры заправки их расплавами и приготовления сплавов в них *in situ* позволяют освободить поверхности жидких металлов от возможной окисной пленки, надежно исключить образование газовых пузырьков, разрывов

жидкости в капиллярах и т.д. в ходе эксперимента. Погрешность измерения плотности составляет в среднем 0,15 % при доверительной вероятности 95 % во всем изученном интервале температур. Поверхностное натяжение определялось методом большой капли [8, 9]. Погрешность измерения ПН составила около 1 %. В опытах использовались металлы высокой чистоты, в которых содержание основного элемента составляло не менее 99,995 %. Измерения плотности и ПН сплавов проводились в интервале температур от 293 до 553 К, а для тройного сплава Na–Cs–K, состав которого близок составу эвтектики, в интервале от 203 до 553 К [10].

Политермы плотности и ПН щелочных металлов и их двойных сплавов в широком температурном диапазоне описываются линейными уравнениями вида:

$$\rho(T) = \rho_{пл} + \alpha(T - T_{пл}), \quad (1)$$

$$\sigma(T) = \sigma_{пл} + \beta(T - T_{пл}), \quad (2)$$

где $\rho_{пл}$ и $\sigma_{пл}$ – плотность и поверхностное натяжение при температуре плавления $T_{пл}$, α и β – температурные коэффициенты плотности и ПН. В табл. 1 приводятся значения параметров уравнений (1) и (2).

Следует отметить, что результаты измерений плотности и ПН ЩМ и сплавов их двойных систем обнаруживают разброс значений ρ и σ , выходящий за пределы указанных в работах авторов погрешностей измерений. Наиболее заметный разброс экспериментальных результатов имеет место по плотности и ПН цезия и сплавов систем с участием цезия.

Таблица 1

Параметры уравнений (1) и (2) для политерм плотности и ПН щелочных металлов и их эвтектических сплавов (состав в ат. %)

Металлы, сплавы	Li	Na	K	Pb	Cs	Na – 68,1 К	Na+79,0 Cs	K+50 Cs
$\rho_{пл}, \text{кг/м}^3$	525,5	926	827	1525	1842	882,2	1846,7	1543,3
$\alpha \cdot 10^3, \text{кг/(м}^3 \cdot \text{К)}$	8,8	243	235	462	554	303	560	546
$\sigma_{пл}, \text{мН/м}$	419	205,3	116,2	95,8	75,0	122,3	93,5	74,2
$\beta, \text{мН/(м} \cdot \text{К)}$	0,150	0,094	0,062	0,052	0,050	0,06062	0,06036	0,06047
$T_{пл}, ^\circ\text{C}$	180,5	97,84	63,3	39,48	28,34	–12,7	–31,86	–38,06

Отметим, что жидкие натрий и эвтектический сплав Na–K уже применяются в качестве теплоносителя в космических ядерных установках [11]. Весьма перспективными для этой цели считаются Li, сплавы Li–Na и Li–Pb эвтектического состава [12, 13].

Плотность и поверхностное натяжение жидких тройных сплавов системы натрий–цезий–калий

Фазовая диаграмма плавокости тройной системы натрий–калий–цезий эвтектическая (рис. 1). Состав эвтектики (в ат. %) 13,9 % Na+42,6 % Cs+43,5 % K с температурой плавления 195,2 К [6].

Ниже приводятся результаты экспериментальных исследований плотности и поверхностного натяжения 98 трехкомпонентных сплавов системы Na–Cs–K, полученные в КБГУ за последние 10 лет. Отметим, что в литературе имеются результаты экспериментального определения плотности всего для трех тройных сплавов системы Na–K–Cs [14–17].

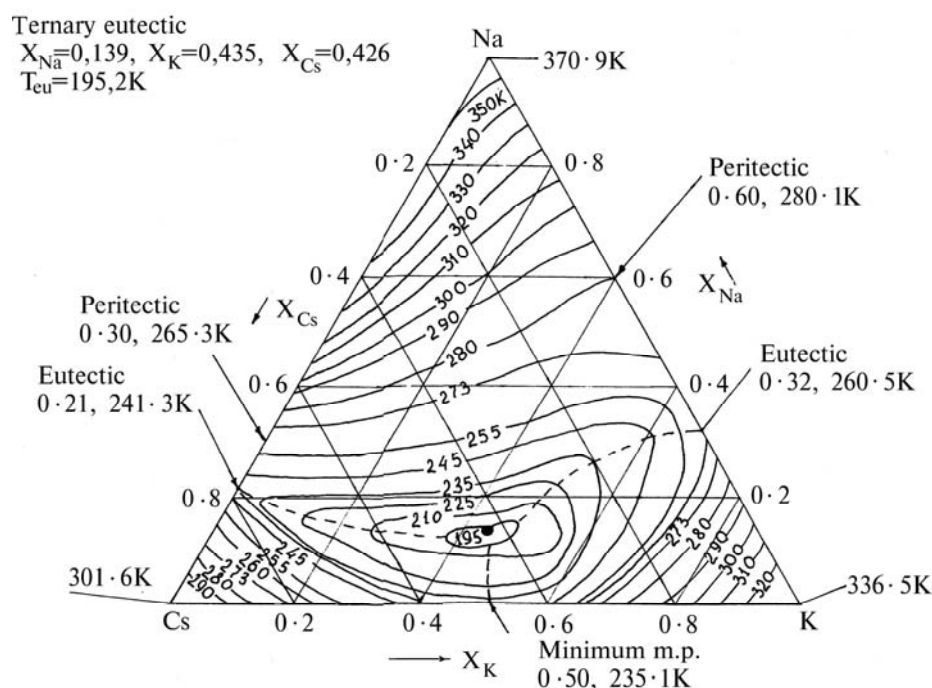


Рис. 1. Диаграмма состояния тройной системы Na–K–Cs. Линии соответствуют сплавам с равными значениями ликвидусных температур. Состав тройной эвтектики (ат. %): 13,9 % Na+43,5 % K+42,6 % Cs; $T_{эвт} = -78,0^\circ\text{C}$

В экспериментах тройные сплавы готовились вдоль 10 лучевых сечений, идущих от боковой стороны Na–Cs к вершине K концентрационного треугольника, путем добавления калия к сплавам, содержащим натрий и цезий с постоянным соотношением их концентраций $X_{\text{Na}}:X_{\text{Cs}}=\text{const}$. Для каждого сечения изучались плотности и ПН от 9 до 15 сплавов, включая двойные сплавы боковой стороны треугольника составов.

Политермы плотности и ПН тройных сплавов в изученных интервалах температур оказались линейными и в пределах погрешности экспериментальных измерений передаются уравнениями вида:

$$\rho(T) = \rho_0 + \alpha(T - T_0), \quad (3)$$

$$\sigma(T) = \sigma_0 + \beta(T - T_0), \quad (4)$$

где ρ_0 и σ_0 – плотность и ПН сплавов при $T_0 = 293\text{ K}$.

В табл. 2 приводятся составы 10 тройных сплавов (по одному сплаву для каждого сечения) и параметры уравнений (3) и (4). В изученных интервалах температур относительные отклонения вычисленных по аппроксимирующим уравнениям (3) и (4) значений плотности и ПН от экспериментальных данных не превышают 0,2 % и 1,0 % соответственно.

Из табл. 2 видно, что температурные коэффициенты плотности и ПН отрицательны, а их абсолютные величины обнаруживают тенденцию к увеличению с уменьшением $b=X_{\text{Na}}:X_{\text{Cs}}$, т.е. при обогащении тройных сплавов цезием. Эта же тенденция характерна и для сплавов двойных эвтектических систем. В целом следует отметить активное влияние компонента цезия на физико-химические свойства сплавов – плотность, поверхностное натяжение, работу выхода электрона, электропроводность и др.

Таблица 2

Составы (в ат. %) и параметры уравнения (3)
для 10 тройных сплавов системы Na–Cs–K при $T_0=293$ К

№ сечения	$b = X_{Na}:X_{Cs}$	X_{Na}	X_{Cs}	X_K	ρ_0 , кг/м ³	$-\alpha$, кг/(м ³ К)	σ_0 , мН/м	$-\beta$, мН/(м·К)
2	57,82	58,5	1,01	40,5	909,2	0,230	121,8	0,060
3	14,38	52,6	3,70	43,7	967,3	0,240	118,4	0,065
4	5,803	40,0	6,90	53,1	1013,0	0,290	106,8	0,050
5	3,651	59,8	16,4	23,8	1290,9	0,440	100,8	0,060
6	1,732	15,6	9,00	75,4	1005,6	0,450	103,4	0,066
7	0,764	29,9	39,1	31,0	1475,9	0,480	86,8	0,091
8	0,634	34,4	54,3	11,3	1692,7	0,472	82,4	0,071
9 ^{*)}	0,287	14,2	49,3	36,5	1465,6	0,450	81,8	0,066
10	0,155	11,2	72,6	16,2	1718,7	0,545	76,8	0,035
11	0,091	2,8	30,9	66,3	1315,2	0,420	85,1	0,071

^{*)} Сплав, состав которого близок к составу эвтектики.

Построены изотермы плотности и ПН сплавов боковых сторон Na–K и Cs–K и всех 10-ти сечений треугольника составов для температур 293, 333 и 373 К. Плотности ряда тройных сплавов сечений определены методом графической экстраполяции экспериментальных кривых. Изотермы плотности сплавов системы Na–Cs–K при температуре 373 К представлены на рис. 2 (составлены подробные таблицы значений $\rho(X_K)$, $V(X_K)$ и $\sigma(X_K)$ сплавов системы Na–Cs–K). Как видно, изотермы плотности сплавов системы Cs–K и тройных сплавов, богатых цезием (кривые 9–12), обнаруживают заметное положительное отклонение от аддитивности. В то же время изотермы плотности тройных сплавов сечений, в которых содержание цезия менее 20 ат. %, обнаруживают слабое отклонение от аддитивной прямой.

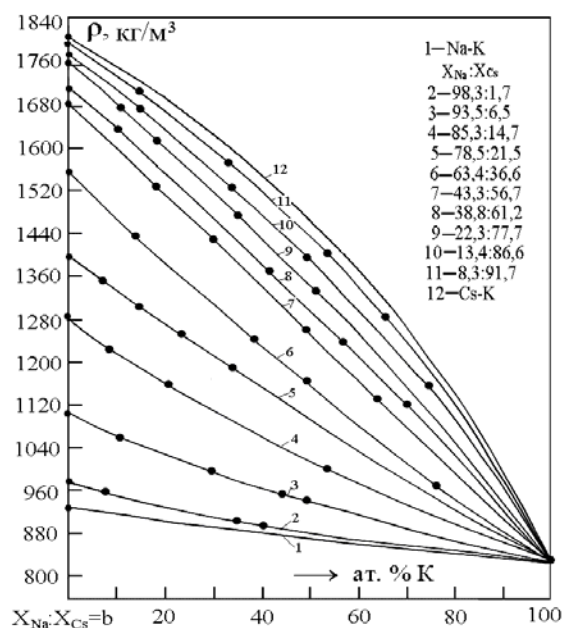


Рис. 2. Изотермы плотности сплавов системы Na–Cs–K при 373 К: 1 и 12 – изотермы плотности сплавов двойных систем Na–K и Cs–K; 2–11 – изотермы плотности тройных сплавов сечений с $X_{Na}:X_{Cs}=b$. Точки на линиях – составы экспериментально изученных тройных сплавов

Изотермы ПН системы Na–Cs–K при 100 °С представлены на рис. 3. Всего изучено более 120 тройных сплавов 10 сечений, для которых отношение концентраций $X_{Na}:X_{Cs}=b$ заданного сечения оставалось постоянным [9, 18]. Как видно, **калий** является **поверхностно-активной**

добавкой к двойным сплавам Na–K и тройным сплавам Na–Cs–K, когда в составах сплавов отношение концентраций $X_{Na}:X_{Cs}>14,4$; в тройных сплавах, в которых $X_{Na}:X_{Cs}<14,4$, калий – уже **поверхностно-инактивная добавка (изотермы 4–9)**. Увеличение содержания цезия в тройной системе приводит к изменению знака поверхностной активности калия. Такое явление мы называли эффектом **концентрационной инверсии** поверхностной активности компонента.

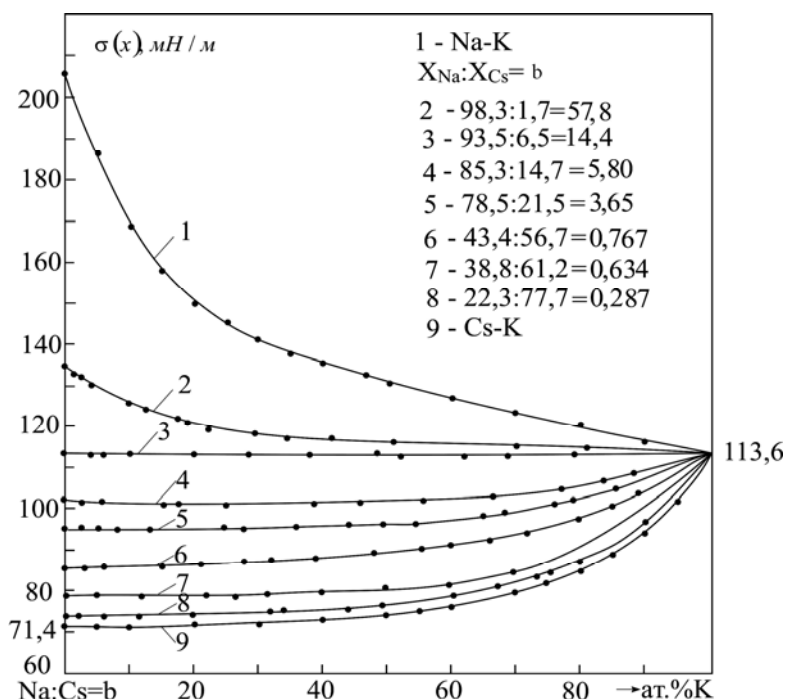


Рис. 3. Изотермы поверхностного натяжения сплавов системы Na–Cs–K при 100 °C

При $X_{Na}:X_{Cs}=14,4$ поверхностная активность калия в тройных сплавах равна нулю, т.е. **добавление калия к тройным сплавам** этого сечения **не приводит к изменению поверхностного натяжения**: все тройные сплавы этого сечения имеют $\sigma(X_K)=113,6$ мН/м при 100 °C. Такое явление называется **концентрационной буферностью** ПН [3, 19–22]. Явление концентрационной буферности является одной из интересных особенностей концентрационной зависимости ПН многокомпонентных систем. Оно означает, что при изменении состава многокомпонентного раствора его свойство (в данном случае поверхностное натяжение) остается постоянным. Проявление концентрационной буферности ПН различно в зависимости от способа изменения состава многокомпонентной системы. В работах В.К. Семенченко [19] и С.И. Попеля [20] рассматривался случай, когда состав раствора изменяется по линиям в концентрационном треугольнике, на которых процентное содержание поверхностно-активного компонента X_i остается неизменным. В работах А.И. Русанова [21] и Р.Х. Дадашева [22] рассматривается способ изменения состава раствора по линии разреза концентрационного треугольника, когда добавляемый компонент лежит на сечении, идущем от боковой стороны треугольника к его вершине, соответствующей добавляемому компоненту.

В случае системы Na–Cs–K в экспериментах использован способ, когда к исходному бинарному сплаву Na–Cs при сохранении постоянного соотношения концентраций $X_{Na}:X_{Cs}=14,4$ добавлялся компонент К, образуя трехкомпонентные сплавы на линии разреза, идущей к вершине калия треугольника составов. В этом случае в тройных сплавах вместе с изменением концентрации К изменяются и концентрации натрия и цезия, но с сохранением отношения $X_{Na}:X_{Cs}=const$.

Явление концентрационной буферности свойств может иметь место для различных свойств многокомпонентных растворов, проявляться по-разному и быть обусловлено разными факторами в зависимости от многообразия способов изменения состава многокомпонентного раствора.

По данным концентрационной зависимости ПН сплавов системы Na–Cs–K при 100 °С, приведенным на рис. 3, рассчитана адсорбция компонента К в тройных сплавах вдоль каждого сечения. Однако не удастся определить адсорбции Cs или Na, элементный состав поверхностного слоя в данной системе и другие свойства, так как для этого надо иметь изотермы ПН тройных сплавов сечений, идущих к вершине Cs или Na при постоянном соотношении $X_{Na}:X_K = \text{const}$ или $X_K:X_{Cs} = \text{const}$. Рассмотрение особенностей влияния компонентов цезия и натрия на поверхностные свойства системы Na–K–Cs требует проведения такого же объема экспериментов, как и для случая системы Na–Cs–K, но в условиях, когда тройные сплавы следует готовить при добавлении Cs или Na к сплавам с сохранением постоянных соотношений соответствующих концентраций. Одним из авторов предложен способ, позволяющий *построить* расчётным путём *изотермы поверхностного натяжения* (и любых других свойств) тройных сплавов вдоль линий разрезов, идущих к избранной вершине треугольника составов [23, 24], *без проведения дополнительных экспериментов*. Значение такого способа весьма важно, когда требуется знать влияние каждого компонента системы на такие свойства тройных систем, как плотность, ПН, адсорбцию, состав поверхностного слоя, эмиссионные свойства и т.д.

Расчет плотности и поверхностного натяжения тройных сплавов сечений, идущих к вершинам цезия и натрия концентрационного треугольника системы натрий–калий–цезий

Впервые в литературе нами экспериментально изучены плотность, поверхностное натяжение и работа выхода электрона (РВЭ) тройной системы Na–Cs–K [9, 18, 25], когда тройные сплавы готовились для сечений, идущих к вершине калия. На проведение измерений этих свойств системы Na–Cs–K ушло около 7 лет с учетом наличия готовой высокопроизводительной аппаратуры, методики приготовления сплавов и опыта работы с двойными и тройными сплавами щелочных металлов.

В экспериментах по ПН системы Na–Cs–K тройные сплавы готовились вдоль 10 лучевых разрезов – линий 1–10 рис. 4, идущих к вершине К [10].

Используя предложенный в [23, 24] способ, определим плотности и ПН тройных сплавов сечений этой же системы, идущих к вершине Cs треугольника составов – линий а–к рис. 4, без проведения дополнительных экспериментов.

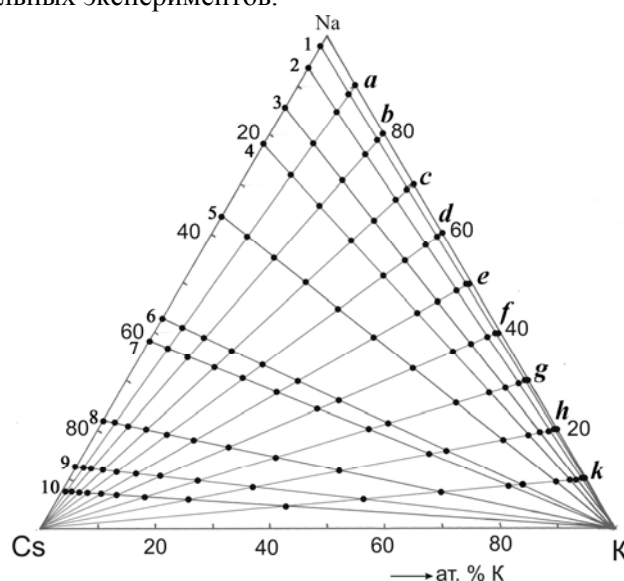


Рис. 4. Точки пересечения лучевых разрезов 1–10, идущих от бинарной системы Na–Cs при $X_{Na}:X_{Cs} = b$ к вершине К, и линий разрезов а–к, идущих от системы Na–K при $X_{Na}:X_K = a$ к вершине Cs

Для этого проведем 9 лучевых сечений от стороны Na–K к вершине Cs в концентрационном треугольнике – линии $a-k$ рис. 4. Тройные сплавы этих сечений образуются добавлением Cs к сплавам с постоянным соотношением концентраций $X_{Na}:X_K=a$. Составы тройных сплавов, соответствующих точкам пересечений линий разрезов, идущих к вершинам K и Cs треугольника составов (рис. 4), определены из очевидных соотношений между концентрациями компонентов для тройного сплава любой точки пересечения: $X_{Na}+X_K+X_{Cs}=1$, $X_{Na}:X_K=a$ и $X_{Na}:X_{Cs}=b$. Из двух последних следует, что $X_K = \frac{b}{a} X_{Cs}$. Тогда получим следующие формулы для расчета концентраций компонентов тройных сплавов, соответствующих точкам пересечений лучевых разрезов, показанных на рис. 4:

$$X_{Cs} = \frac{a}{a+b+ab}, \quad X_K = \frac{b}{a+b+ab}, \quad X_{Na} = \frac{ab}{a+b+ab}.$$

По этим формулам рассчитаны составы тройных сплавов, соответствующих точкам пересечений лучевых разрезов, идущих к вершинам K и Cs.

Теперь из экспериментально построенных изотерм плотности сплавов 10-ти лучевых сечений 1–10, идущих к вершине K (рис. 4), находим значение плотности каждого тройного сплава, соответствующего любой точке пересечения линий разрезов. Определены таким образом значения плотности для 90 тройных сплавов. По этим данным построены изотермы плотности сплавов 9-ти сечений (рис. 4, линии $a-k$), идущих к вершине цезия, которые представлены на рис. 5. Оказалось, что изотермы плотности сплавов системы Na–K–Cs обнаруживают положительное отклонение от аддитивной прямой, особенно заметное для богатых цезием сплавов (рис. 5, линии 1–6).

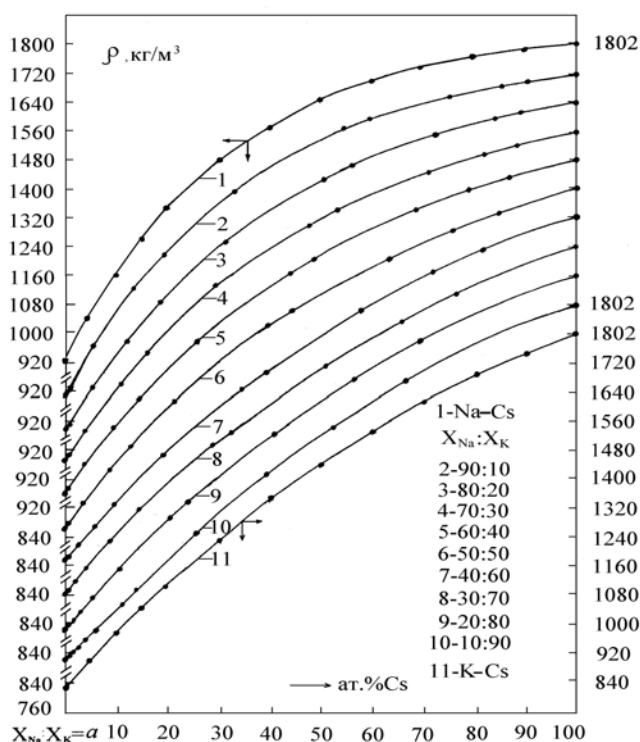


Рис. 5. Изотермы плотности сплавов двойных систем Na–Cs (1) и K–Cs (11) и тройных сплавов девяти лучевых разрезов 2–10 системы Na–K–Cs при 373 К. Точки на изотермах (линии 2–10) – экспериментальные данные

Таким же образом определены плотности тройных сплавов 9 сечений системы K–Cs–Na, идущих к вершине Na треугольника составов и имеющих постоянные отношения концентраций $X_K:X_{Cs}=\text{const}$. Изотермы плотности представлены на рис. 6. Легко видеть, что изотермы плотности обнаруживают также положительные отклонения от аддитивных прямых, особенно заметные для богатых цезием сплавов сечений 5–10 и двойной системы Cs–Na.

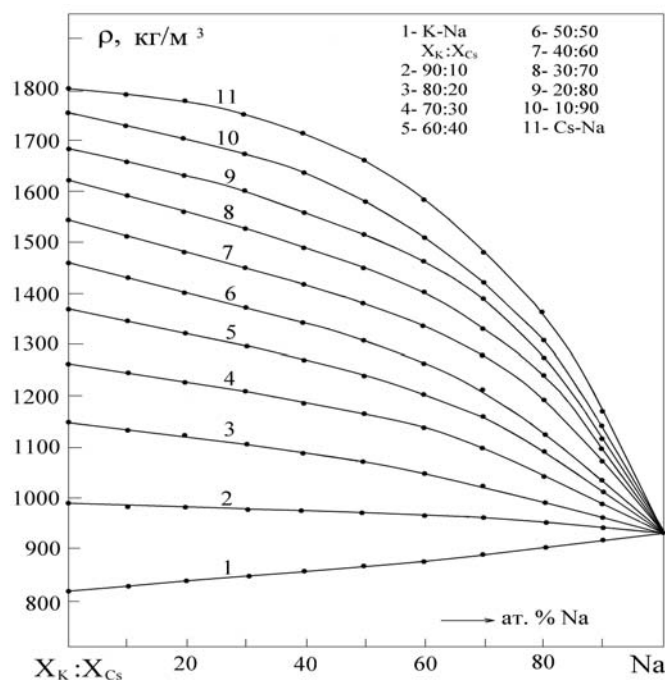


Рис. 6. Изотермы плотности сплавов системы K–Cs–Na при 373 К

Способ расчета поверхностных натяжений тройных систем Na–K–Cs и K–Cs–Na повторяет процедуры расчета плотности для тройных сплавов этих систем.

Из экспериментальных изотерм ПН сплавов 10-ти лучевых сечений, идущих к вершине K (часть изотерм – на рис. 3), находим значения поверхностного натяжения каждого тройного сплава, соответствующего точкам пересечений линий разрезов (рис. 4).

Эти данные позволяют определить поверхностное натяжение тройных сплавов сечений a–k (рис. 4) системы Na–K–Cs и построить изотермы ПН сплавов этих 9-ти сечений, идущих к вершине Cs. Они представлены на рис. 7.

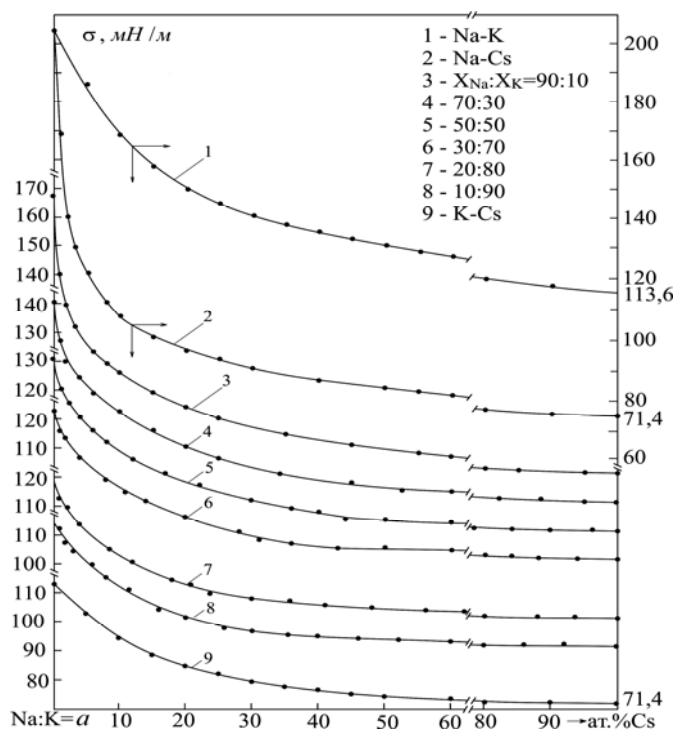


Рис. 7. Изотермы поверхностного натяжения системы Na–K–Cs при 100 °C: 1, 2 и 9 – изотермы ПН бинарных систем; 3–8 – изотермы ПН тройных сплавов сечений, идущих к вершине Cs треугольника составов системы Na–K–Cs

Как видно, цезий, в отличие от калия, проявляет поверхностную активность для всех тройных сплавов системы, понижая весьма заметно ПН сплавов при его малых концентрациях. Этого следовало ожидать, так как цезий поверхностно активен как к натрию, так и к калию. Цезий в сплавах двойных систем Na–Cs и K–Cs и во всех тройных сплавах системы Na–K–Cs ведет себя как добавка, проявляющая заметное влияние на физические свойства, в частности, на плотность тройных сплавов, приводя к заметному положительному отклонению изотерм плотности от аддитивной прямой.

Указанным выше способом определено поверхностное натяжение тройных сплавов системы K–Cs–Na для 9-ти сечений, идущих к вершине Na концентрационного треугольника и содержащих компоненты K и Cs с постоянным соотношением их концентраций $X_K:X_{Cs}=\text{const}$. Сечения проводились от стороны бинарной системы Cs–K к вершине Na треугольника составов. В этом случае рассматривались тройные сплавы, соответствующие точкам пересечений 9-ти указанных сечений с 10-тью сечениями, идущими к вершине K треугольника составов от стороны бинарной системы Cs–Na с постоянными соотношениями концентраций $X_{Na}:X_{Cs}=\text{const}$. По экспериментальным изотермам ПН тройных сплавов этих 10-ти сечений определены значения поверхностного натяжения всех 90 тройных сплавов системы K–Cs–Na. Изотермы ПН этих тройных сплавов всех девяти сечений приводятся на рис. 8.

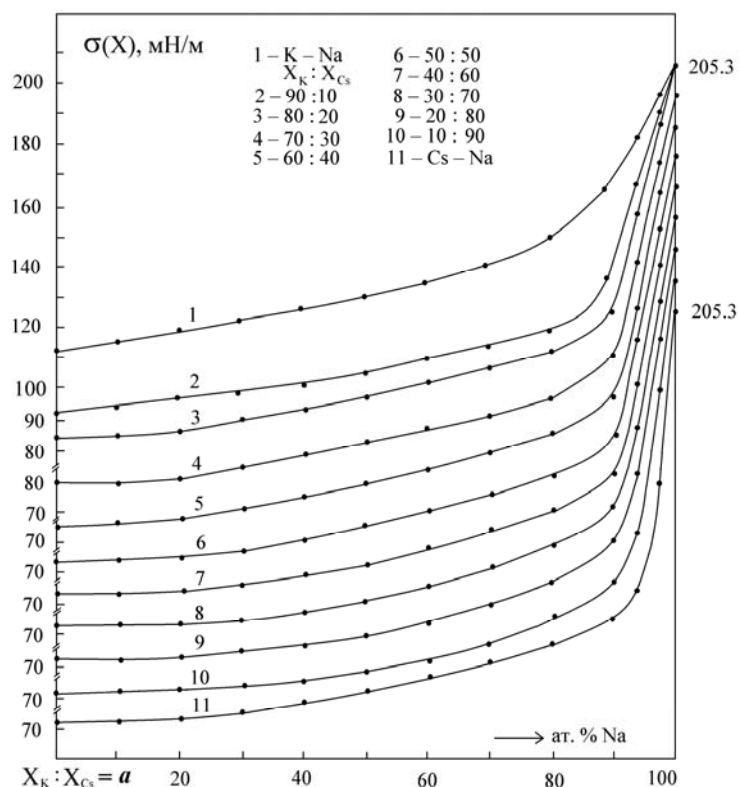


Рис. 8. Изотермы поверхностного натяжения сплавов системы K–Cs–Na при 373 К

Плотность и поверхностное натяжение тройного эвтектического сплава системы Na–K–Cs

Весьма перспективными в качестве высокотемпературных теплоносителей для ядерно-космических энергетических установок являются многокомпонентные сплавы щелочных металлов. Как отмечалось выше, первыми металлическими теплоносителями в космических ядерных установках были жидкие натрий и натрий-калиевый эвтектический сплав. Эвтектический сплав трехкомпонентной системы Na–K–Cs имеет физико-химические свойства – плотность, вязкость, теплопроводность, широкий интервал температур жидкого состояния, поверхностное натяжение, смачи-

ваемость и др., – которые позволяют говорить о перспективности использования этого сплава в качестве эффективного легкого теплоносителя для ядерно-космических энергетических установок.

Эвтектический сплав системы натрий–калий–цезий имеет состав (в ат. %) 13,9 % Na + 43,5 % K + 42,6 % Cs и температуру плавления 195,2 К (см. рис. 1). Из литературы известно экспериментальное исследование лишь плотности трех тройных сплавов системы Na–K–Cs, составы которых близки к эвтектическому. Температурные зависимости плотности, полученные в этих работах, описываются линейными уравнениями соответственно [14–16]:

$$\rho(T) = 1562 - 0,470(T - 200), \quad (5)$$

ρ в $\text{кг}\cdot\text{м}^{-3}$, T в К, интервал температуры 201–1065 К, погрешность ~ 1 %;

$$\rho(T) = 1457,2 - 0,454(T - 200), \quad (6)$$

ρ в $\text{кг}\cdot\text{м}^{-3}$, T в К, интервал температуры 199–300 К, погрешность $\sim 0,5$ %;

$$\rho(\tau) = 1562 - 399,63\tau - 19,15\tau^2, \quad \tau = 10^{-3}T, \quad (7)$$

ρ в $\text{кг}\cdot\text{м}^{-3}$, T в К, интервал температуры 293–1101 К.

Среди изученных в работе [10] тройных сплавов системы Na–Cs–K имеется тройной сплав, состав которого близок к составу эвтектического сплава.

$$\rho(T) = 1465,6 - 0,450(T - 293), \quad \text{кг}\cdot\text{м}^{-3}, \quad (8)$$

ρ в $\text{кг}\cdot\text{м}^{-3}$, T в К, интервал температуры 210–553 К.

Относительная погрешность измерений плотности оценивалась в 0,15 %. Таким образом, только в одной работе [16] изучен тройной сплав эвтектического состава. Поэтому сравнение результатов указанных работ по плотности сплава эвтектического состава носит лишь качественный характер. Так, при температуре 300 К значения плотности в указанных работах (в $\text{кг}\cdot\text{м}^{-3}$) составляют 1515 [14], 1412 [15] и 1462,5 [10]. Относительные этих данных от результата работы [16] 1440,4 $\text{кг}\cdot\text{м}^{-3}$ составляют соответственно +5,2 %, –2,0 % и +1,5 % и выходят в десятки раз за пределы объявленных погрешностей.

Поверхностное натяжение (ПН) тройного сплава системы Na–K–Cs, состав которого близок к эвтектическому, экспериментально измерено только в работах [19, 18] в температурном диапазоне 200–550 К. Политерма поверхностного натяжения сплава описывается уравнением:

$$\sigma(T) = 81,4 - 0,024(T - 200), \quad \text{мН}\cdot\text{м}^{-1}. \quad (9)$$

Погрешность определения ПН составляет около 1 %.

Изложенное показывает, что имеется необходимость изучения плотности и поверхностного натяжения эвтектического сплава системы Na–K–Cs как перспективного жидкометаллического теплоносителя в тепловых трубах и ядерных энергетических установках.

Описанным выше способом, используя экспериментальные данные плотности и поверхностных натяжений тройных сплавов двух сечений системы Na–K–Cs, идущих к вершинам Cs и K, включая также эвтектический сплав, мы определили значения плотности и поверхностного натяжения тройного эвтектического сплава системы Na–K–Cs (рис. 9). Полученные данные хорошо согласуются между собой и равны соответственно 1406 $\text{кг}\cdot\text{м}^{-3}$ и 77,0 $\text{мН}\cdot\text{м}^{-1}$. С учетом этих данных и температурных коэффициентов в уравнениях (8) и (9) построили аппроксимационные уравнения для политерм плотности и поверхностного натяжения эвтектического сплава в интервале температур 200–550 К, которые имеют вид:

$$\rho(T) = 1482,8 - 0,450(T - 200), \quad \text{кг}\cdot\text{м}^{-3}, \quad (10)$$

$$\sigma(T) = 81,1 - 0,024(T - 200), \quad \text{мН}\cdot\text{м}^{-1}. \quad (11)$$

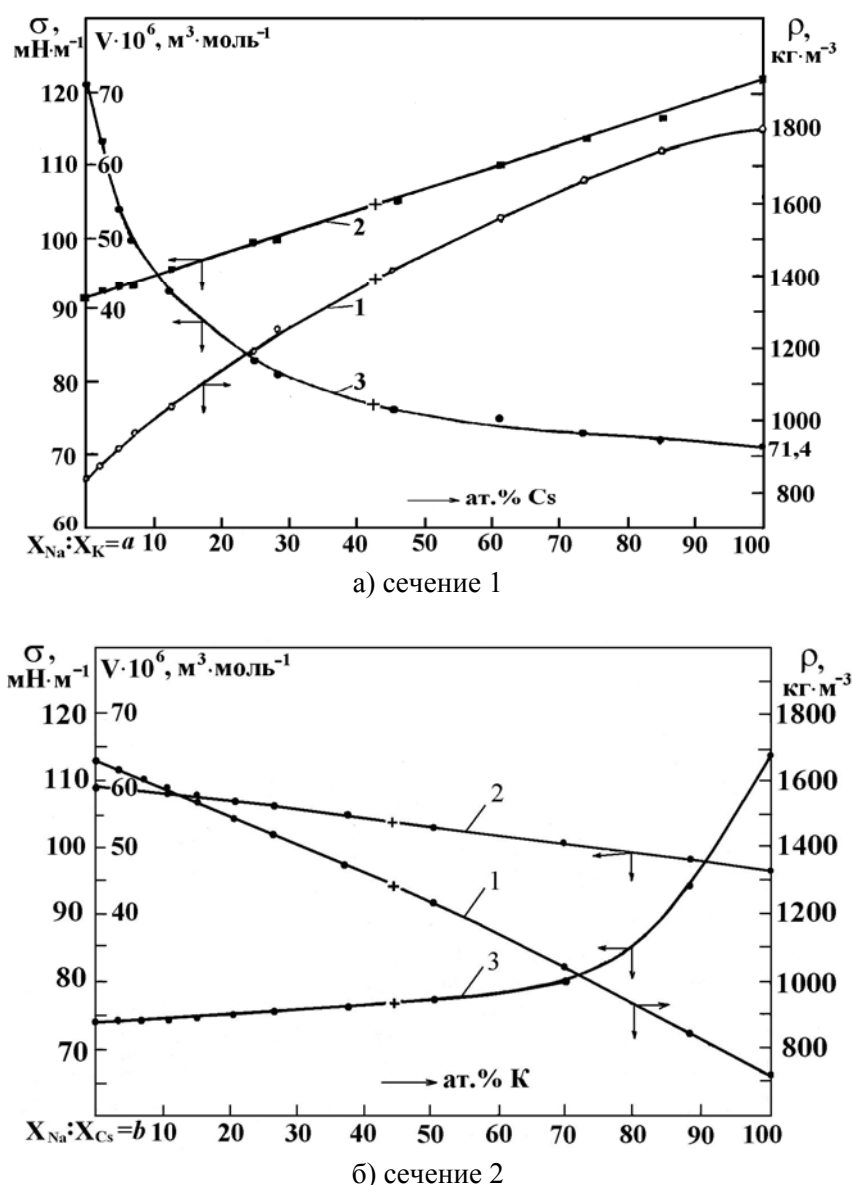


Рис. 9. Изотермы плотности (1), мольного объема (2) и поверхностного натяжения (3) тройных сплавов системы Na–K–Cs при 373 К вдоль сечений, идущих к вершинам цезия (а) и калия (б) концентрационного треугольника: + – значения ρ , V и σ эвтектического сплава

На рис. 9а, б приводятся изотермы плотности, мольного объема и поверхностного натяжения тройных сплавов вдоль двух сечений, идущих к вершинам Cs и K и содержащих эвтектический сплав. Как видно из рисунков, изотермы плотности тройных сплавов сечений обнаруживают положительные отклонения от аддитивности, а изотермы мольных объемов тройных сплавов для обоих сечений изображаются аддитивными прямыми, что свидетельствует о близости системы к регулярному раствору. Как и следовало ожидать, цезий проявляет высокую поверхностную активность в тройных сплавах рассмотренного сечения при его малых концентрациях (линия 3 сечения 1).

Результаты по плотности эвтектического сплава в интервале температур 300–550 К дают в среднем относительные отклонения около 0,25 %. Поэтому согласие наших результатов с данными работы [16] можно считать вполне удовлетворительным. Различие значений температурных коэффициентов плотности при указанных температурах составляет около 8 %, что также в пределах погрешности экспериментального определения.

В заключение отметим, что впервые в литературе экспериментально и расчетно-графическим методом определены значения плотности и поверхностных натяжений более 130 тройных сплавов систем Na–K–Cs, составленных вдоль трех групп сечений, идущих к вершинам концентрационного треугольника. Измерения плотности проводились пикнометрическим методом, а поверхностного натяжения – методом большой капли в диапазоне температур 293–553 К. Относительная погрешность определения плотности – около 0,15 %, ПН – около 1,5 % при доверительной вероятности 95 %. Построены политермы плотности, поверхностного натяжения и мольных объемов тройных сплавов в изученных интервалах температур, которые описываются линейными уравнениями с отрицательными температурными коэффициентами для плотности и положительными – для мольных объемов, а ПН обнаруживает как отрицательные, так и положительные температурные коэффициенты.

Определены плотность (ρ), мольные объемы (V) и поверхностное натяжение (σ) тройного эвтектического сплава. Температурные зависимости плотности, мольного объема и поверхностного натяжения эвтектического сплава описываются линейными уравнениями в температурном диапазоне 200–450 К. Значения ρ , V и σ эвтектического сплава при 373 К составляют $1406 \text{ кг}\cdot\text{м}^{-3}$, $54,62\cdot 10^{-6} \text{ м}^3\cdot\text{моль}^{-1}$ и $77,0 \text{ мН}\cdot\text{м}^{-1}$; при эвтектической температуре 195,2 К соответственно $1482,8 \text{ кг}\cdot\text{м}^{-3}$, $51,73\cdot 10^{-6} \text{ м}^3\cdot\text{моль}^{-1}$ и $81,1 \text{ мН}\cdot\text{м}^{-1}$.

Библиография

1. Хоконов Х.Б., Алчагиров Б.Б., Задумкин С.Н. К измерению плотности жидких металлов и сплавов ареометрическим методом // Заводск. лаб. – 1974. – Т. 40, № 1. – С. 42–43.
2. Алчагиров Б.Б. Поверхностное натяжение и плотность жидких щелочных металлов и сплавов // Известия СКНЦ ВШ. Естественные науки. – 1986. – № 4. – С. 51–58.
3. Шпильрайн Э.Э., Каган Д.Н., Кречетова Г.А. Термодинамические свойства и характеристики межчастичного взаимодействия жидких бинарных систем щелочных металлов: обзоры по теплофизическим свойствам вещества // ТФЦ. – М.: ИВТАН, 1980. – № 2 (22). – 100 с.
4. Шпильрайн Э.Э., Каган Д.Н., Кречетова Г.А. Параметр ближнего порядка и избыточные энергии межчастичного взаимодействия в жидких бинарных системах щелочных металлов // ТВТ. – 1980. – Т. 18, № 3. – С. 501–507; С. 639–643; № 4. – С. 880–882; 1981. – Т. 19, № 2. – С. 432–435.
5. Bale C.M., Pelton A.D. Phase equilibria and thermodynamic properties of alkali metal binary systems // Bull. Alloy Phase Diagrams. – 1982. – Vol. 3. – P. 310–321; 1983. – Vol. 4. – P. 379–388.
6. Handbook of Thermodynamic and Transport Properties of Alkali Metals / ed. R.W. Oshe Oxford. – UK: Black Well Scientific Publications Ltd., 1985. – 987 p.
7. Патент РФ № 2194970. – 2002 г. Пикнометр для определения плотности жидкостей с повышенной упругостью собственных паров. Алчагиров А.Б., Алчагиров Б.Б., Дулуб О.В.
8. Патент № 2086957, 10.08.1997 г. Прибор для определения поверхностного натяжения и работы выхода электрона металлических растворов в полном концентрационном интервале составов. Алчагиров Б.Б., Хоконов Х.Б.
9. Архестов Р.Х., Алчагиров Б.Б., Хоконов Х.Б. Плотность и поверхностное натяжение расплавов системы натрий–калий–цезий // Физика и химия перспективных материалов. – Нальчик: КБГУ, 1998. – С. 10–14.
10. Архестов Р.Х. Диссертация кандидата ф.-м.н. – Нальчик: КБГУ, 2001. – 140 с.
11. Ивановский М.Н., Логинов Н.И., Миловидова А.В., Морозов В.А., Плетенец С.С. Натрий-калиевый сплав эвтектического состава – теплоноситель космических ядерных энергетических установок // Тр. Международного семинара «Теплофизические свойства веществ (жидкие металлы и сплавы)». – Нальчик: Каб.-Балк. ун-т, 2001. – С. 116–120.
12. Субботин В.Н., Арнольдов М.Н., Ивановский М.Н., Мосин А.А., Тарбов А.А. Литий. – М.: ИздАт, 1999. – 263 с.

13. Михайлов В.Н., Евтихин В.А., Люблинский И.Е., Вертков А.В., Чуманов А.Н. Литий в термоядерной и космической энергетике XXI века. – М.: Энергоатомиздат, 1999. – 528 с.
14. Tepper F., King J., Greer J. Multicomponent alkali metal alloys // *Alkali Metals. Spec. Publ.* № 22. – London: Chem. Soc., 1967. – P. 23–31.
15. Berg R.E., Moldover M.R., Rabinovich S. and Voronel A. Viscosity and density of two alkali metal mixtures // *J. Phys.(F): Met. Phys.* 1987. – V. 17, № 9. – P. 1861.
16. Новиков И.И., Шпильрайн Э.Э., Якимович К.А., Рошупкин В.В., Фомин В.А., Сквородько С.М., Мозговой А.Г., Чернов А.И. Исследование плотности жидких натрий–калий–цезиевых сплавов при высоких температурах // *Перспективные материалы.* – 2001. – № 5. – С. 37–41.
17. Новиков И.И., Шпильрайн Э.Э., Якимович К.А., Рошупкин В.В., Фомин В.А., Сквородько С.М., Мозговой А.Г., Чернов А.И. Экспериментальное исследование плотности расплавленных сплавов щелочных металлов при высоких температурах // *Тр. Международного семинара «Теплофизические свойства веществ (жидкие металлы и сплавы)».* – Нальчик: КБГУ, 2001. – С. 59.
18. Alchagirov B.B., Arkhestov R.Kh., Taova T.M., Khokonov Kh.B. Surface tension of melts of Na–Cs–K ternary system // *J. Materials Science.* – 2005. – V. 40. – P. 2217–2219.
19. Семенченко В.К. Поверхностные явления в металлах и сплавах. – М.: Гостехиздат. 1957. – 491 с.
20. Попель С.И. Поверхностные явления в расплавах. – М.: Metallurgia, 1994. – 440 с.
21. Русанов А.И. Фазовые равновесия и поверхностные явления. – Л., 1967. – 388 с.
22. Дадашев Р.Х. Термодинамика поверхностных явлений / под ред. Х.Б. Хоконова. – М.: Физматлит, 2007. – 280 с.
23. Таова Т.М. К расчету поверхностного натяжения системы Na–K–Cs с использованием данных для сплавов, лежащих на линиях разрезов, идущих к одной из вершин треугольника составов // *Расплавы.* – 2007. – № 1. – С. 68–75.
24. Таова Т.М. Способ расчета свойств тройных систем с использованием данных для сплавов, лежащих на линиях разреза, идущих к одной из вершин треугольника составов: XI Российская конференция по теплофизическим свойствам веществ: материалы конференции. СПб., 2005. – С. 224.
25. Alchagirov B.B., Taova T.M., Khokonov Kh.B. Surface tension and electron work function of alkali metals and alloys // *High Temperature Capillarity. Proc. Inter. Conf. Bratislavs.* – 1995. – P. 184–190.

ПОВЕРХНОСТНОЕ НАТЯЖЕНИЕ И ПОВЕРХНОСТНАЯ ЭНЕРГИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ НАНОЧАСТИЦ

З.А. Шебзухов, М.А. Шебзухова, А.А. Шебзухов

В рамках термодинамического метода Гиббса получены новые выражения для поверхностного натяжения и поверхностной энергии на плоских и искривленных границах сферической формы в изотермических и неизотермических условиях в однокомпонентных системах. Полученные формулы позволяют рассчитать поверхностное натяжение σ и поверхностную энергию $\bar{u}$ сферических наночастиц в зависимости от радиуса. Из выведенного выражения при малых радиусах следует линейная формула Русанова, а при больших радиусах – формула Толмена. Предложены новые соотношения, описывающие изменение поверхностной энергии и поверхностного натяжения на плоских и искривленных границах при фазовом переходе твердое тело–жидкость. Проведены численные расчеты поверхностного натяжения и поверхностной энергии на плоских и искривленных границах, а также автоадсорбции, параметра Толмена и параметра Русанова для 50 жидких металлов. Результаты расчетов согласуются с имеющимися экспериментальными данными.

Within the framework of Gibbs thermodynamic method the expressions for a surface tension and a surface energy in isothermal and non isothermal conditions in one-component systems are obtained. The obtained formulas allow to calculate a surface tension σ and a surface energy $\bar{u}$ of spherical nanodrops depending on radius. Rusanov's linear formula follows from the deduced expressions at small radiuses. Tolmen's formula follows, when radiuses have great values. New relations describe change a surface tension and a surface energy on the flat and curved boundaries at phase transition solid – liquid. The calculations for a surface tension and a surface energy on the flat and curved boundaries, and also autoadsorption, Tolmen's parameter and the parameter of Rusanov are lead for 50 metals. Results of calculations are coordinated with available experimental data.

1. Введение

В настоящее время значительное внимание уделяется изучению размерных зависимостей свойств малых объектов (частиц, капель, пузырьков, пленок) чистых и многокомпонентных веществ [см., например, 1–8]. Такой интерес связан, в первую очередь, с интенсивным развитием нанотехнологий [9, 10]. Поверхностные свойства наносистем при этом представляются особенно актуальными и являются во многих случаях определяющими среди других фундаментальных свойств наночастиц (остаточный магнетизм, ширина запрещенной зоны в полупроводниках, температура плавления и др.). Не ставя перед собой задачу провести подробный анализ результатов работ по данной тематике, отметим, что результаты по зависимости поверхностного (на границе конденсированной фазы с паром или газом) и межфазного (на границе двух конденсированных фаз) натяжения от кривизны границы даже качественно различаются во многих случаях. Такое многообразие точек зрения по одному и тому же вопросу о размерной зависимости поверхностного натяжения σ от радиуса кривизны r связано со сложностью теоретического описания и экспериментального изучения свойств малых объектов.

Целью настоящей работы является получение с единых позиций новых строгих соотношений для описания зависимости поверхностного натяжения и поверхностной энергии наночастиц на границе с паром от размера в рамках термодинамики поверхностных явлений Гиббса. В ходе работы предлагается изучить размерные эффекты поверхностного натяжения наночастиц в изотермических и неизотермических условиях, а также в зависимости от характера кривизны поверхности (например, капля в собственном насыщенном паре или пузырек в массивной жидкости). При устремлении кривизны поверхности к нулю (переходе к квазиплоским поверхно-

стям) полученные выражения должны позволить вычислять значения поверхностного натяжения и поверхностной энергии на плоских поверхностях, совпадающие с наиболее надежными экспериментальными данными. В ходе решения задач, необходимых для достижения поставленной цели, предполагается развить способ нахождения расстояний между характерными разделяющими поверхностями, в том числе расстояния между эквимолекулярной разделяющей поверхностью и поверхностью натяжения (параметр Толмена). С использованием новых соотношений, полученных в настоящей работе, предполагается выяснить влияние фазового перехода твердое тело–жидкость на поверхностное натяжение и поверхностную энергию наночастиц и макроскопической фазы на границе с насыщенным паром.

Отметим, что в литературе в ряде случаев указывается на неопределенность [11] и даже принципиальную неприменимость понятия поверхностного натяжения [12] и вообще термодинамического описания малых объектов. В связи с этим отметим, что описание свойств малых объектов может быть проведено, конечно, без введения понятия поверхностного натяжения (см. например, оригинальный подход Хилла [13]). При этом, однако, следует подчеркнуть, что метод Гиббса с разделяющими поверхностями является строгим независимо от наличия или отсутствия в действительности внутренней объемной фазы в рассматриваемой системе [1, 14, 16]. Малым объектом в методе Гиббса в таких случаях является только одна фаза (дисперсная), а другая фаза (дисперсионная среда) является макроскопической и в целом система не является малой. В ряде случаев подход, основанный на введении ансамбля систем и не использующий понятия поверхностного натяжения, становится неудобным при применении высокодисперсных систем с взаимно проникающими фазами, и использование метода Гиббса оказывается более предпочтительным [17]. Термодинамические уравнения, как совершенно справедливо отмечает Русанов А.И. (см. [1], а также примечание редактора на стр. 58 в [11]), строго справедливы вплоть до исчезновения поверхности натяжения [14].

2. Поверхностное натяжение на границах с положительной кривизной в однокомпонентных системах

2.1. Основные соотношения для размерной зависимости поверхностного натяжения в случае положительной кривизны поверхности

Рассмотрим однокомпонентную систему, состоящую из дисперсной фазы (α) и дисперсионной среды (β) [18]. В качестве дисперсной фазы будем иметь в виду сферическую частицу с радиусом r , расположенную с вогнутой стороны поверхности (внутренняя фаза). В качестве дисперсионной среды будем рассматривать массивную фазу (β), расположенную с выпуклой стороны поверхности (внешняя фаза). Отличительной особенностью искривленных поверхностей (по сравнению с плоскими) является существование разницы давлений в объемных фазах ($\Delta p = p^{(\alpha)} - p^{(\beta)} \neq 0$), расположенных по обе стороны от искривленной поверхности. Плоские поверхности являются одними из частных случаев, когда $r = \infty$ и $\Delta p = 0$.

В качестве разделяющей поверхности выберем в пределах переходного слоя между фазами поверхность натяжения $\left[\frac{\partial \sigma}{\partial r} \right]_{r=r_s} = 0$, для которой поверхностное натяжение равно работе образования единицы поверхности [9]. Для этого положения разделяющей поверхности справедливо соотношение

$$\partial p^{(\alpha)} = \partial p^{(\beta)} + \frac{2}{r} d\sigma - \frac{2\sigma}{r^2} dr. \quad (2.1)$$

При выбранных нами положениях дисперсной фазы (α) и дисперсионной среды (β), а также положении разделяющей поверхности, радиус кривизны r будет положительной величиной ($r > 0$). Поверхность натяжения делит объем поверхностного слоя $V^{(\sigma)}$ на две части $V_{\alpha}^{(\sigma)}$ и

$V_{\beta}^{(\sigma)}$, расположенные по обе стороны от поверхности натяжения [1]. Перейдем к молярным величинам и введем безразмерные величины $\bar{\alpha}$ и $\bar{\beta}$, характеризующие эти части и связанные соотношением $\bar{\alpha} + \bar{\beta} = 1$, где $\bar{\alpha} = v_{\alpha}^{(\sigma)} / v^{(\sigma)}$, $\bar{\beta} = v_{\beta}^{(\sigma)} / v^{(\sigma)}$, $v^{(\sigma)}$ – усредненное по переходному слою значение молярного объема, $v_{\alpha}^{(\sigma)}$ и $v_{\beta}^{(\sigma)}$ – соответствующие части $v^{(\sigma)}$, расположенные по обе стороны от поверхности натяжения. Будем исходить из условий термодинамического равновесия в рассматриваемой системе $g^{(\alpha)} = g^{(\beta)} = g^{(\sigma)}$, где g – молярный термодинамический потенциал Гиббса, верхний индекс « σ » относится к поверхностному слою. Потенциал g в объемных фазах (чистых веществ) зависит от температуры T , давления $p^{(\xi)}$ ($\xi = \alpha, \beta$), а в межфазном слое – еще и от σ . Пользуясь условиями $dg^{(\alpha)} = dg^{(\sigma)}$ и $dg^{(\beta)} = dg^{(\sigma)}$ и выражениями для полных дифференциалов dg , соответственно получим:

$$\omega d\sigma = (S^{(\alpha)} - S^{(\sigma)})dT - (v^{(\alpha)} - \bar{\alpha}v^{(\sigma)})dp^{(\alpha)} + \bar{\beta}v^{(\sigma)}dp^{(\beta)}, \quad (2.2)$$

$$(S^{(\beta)} - S^{(\sigma)})dT - v^{(\beta)}dp^{(\beta)} + v^{(\alpha)}dp^{(\alpha)} = 0, \quad (2.3)$$

где ω , s , v – соответственно поверхность, энтропия и объем, приходящиеся на один моль. Рассмотрим зависимость поверхностного натяжения от радиуса поверхности натяжения в изотермических условиях. Исключим из (2.1)–(2.3) давления в фазах $p^{(\alpha)}$ и $p^{(\beta)}$. В результате будем иметь следующее основное соотношение для искомой зависимости σ от r в изотермических условиях:

$$\left(\frac{\partial \sigma}{\partial r} \right)_T = \sigma r^{-1} \left[1 + \omega (2 \cdot \Delta \omega)^{-1} \right]^{-1}, \quad (2.4)$$

где

$$\Delta \omega = (\bar{\beta}v^{(\sigma)} - \rho v^{(\beta)}) / r, \quad (2.5)$$

$$\rho = (v^{(\sigma)} - v^{(\alpha)}) / (v^{(\beta)} - v^{(\alpha)}).$$

Нетрудно видеть, что в изотермических условиях знак производной $d\sigma/dr$, в соответствии с (2.4), определяется знаком второго сомножителя в правой части (2.4). Знак и численное значение величины $(\bar{\beta}v^{(\sigma)} - \rho v^{(\beta)})$ зависят от значения $\bar{\beta}$ и соотношения плотностей в объемных фазах $\rho^{(\alpha)}$, $\rho^{(\beta)}$, а также средней плотности в межфазном слое $\rho^{(\sigma)}$. Так, для нее можно получить следующее очевидное выражение:

$$\bar{\beta}v^{(\sigma)} - \rho v^{(\beta)} = \frac{1}{\rho^{(\sigma)}} \left(\bar{\beta} - \frac{\rho^{(\alpha)} - \rho^{(\sigma)}}{\rho^{(\alpha)} - \rho^{(\beta)}} \right). \quad (2.6)$$

Если в пределах переходного слоя ввести еще одну разделяющую поверхность, совпадающую с эквимолекулярной, на которой автоадсорбция равна нулю, то эту величину, в случае сферической формы, можно выразить через толменовскую длину $\delta = r_s - r_n$, где r_s и $r = r_n$ – соответственно радиусы эквимолекулярной разделяющей поверхности и поверхности натяжения. В таком случае будем иметь

$$\bar{\beta}v^{(\sigma)} - \rho v^{(\beta)} = \delta \omega \left(1 + \frac{\delta}{r} + \frac{1}{3} \frac{\delta^2}{r^2} \right). \quad (2.7)$$

Вводя безразмерную величину $x = r / \delta$ и используя (2.7), выражение (2.4) можно представить в виде:

$$\frac{d\sigma}{\sigma} = \frac{dx}{x} - \frac{x^2}{x^3 + 2x^2 + 2x + 2/3} dx. \quad (2.8)$$

Это дифференциальное уравнение является основным соотношением для искомой зависимости межфазного натяжения от безразмерного радиуса кривизны в изотермических условиях.

2.2. Зависимость поверхностного натяжения сферических наночастиц металлов от размера при больших радиусах кривизны. Выход за пределы приближения Толмена

Рассмотрим вначале ряд частных случаев, связанных с использованием функции

$$F(x) = \frac{x^2}{x^3 + 2x^2 + 2x + 2/3}, \quad (2.9)$$

входящей в уравнение (2.8). При очень больших значениях x в знаменателе функции $F(x)$ пренебрежем последними тремя слагаемыми ($x^3 \gg 2x^2 + 2x + 2/3$). Если при этом задаться условием приближения $c_x = (2x^2 + 2x + 2/3)/x^3 \leq 10^{-3}$, то полученный результат будет относиться к размерам $x \geq 2001$ (при $\delta \approx 0,3$ нм это соответствует значениям радиуса частицы $r \geq 600,3$ нм). В таком случае из (2.8) после интегрирования следует, что $d\sigma/\sigma = 0$ и $\sigma = \sigma_\infty = \text{const}$, где σ_∞ – значение σ для плоской поверхности ($r = \infty$). Следовательно, для частиц с такими размерами ($x \geq 2001$) поверхностное натяжение не зависит от размера. Аналогичный результат ($\sigma = \sigma_\infty$) будет иметь место в областях $x \geq 201$ ($r \geq 60,3$ нм при $\delta \approx 0,3$ нм) и $x \geq 101$ ($r \geq 30,3$ нм при $\delta \approx 0,3$ нм) при значениях соответственно $c_x \leq 10^{-2}$ и $c_x \leq 2 \cdot 10^{-2}$.

Если принять условие $c_x = (2x + 2/3)/(x^3 + 2x^2) \leq 0$ и пренебречь последними двумя слагаемыми в (2.9), получим после интегрирования (2.8):

$$\sigma = \sigma_\infty / (1 + 2/x) \text{ или } \sigma = \sigma_\infty \left(1 + \frac{2\delta}{r}\right)^{-1}, \quad (2.10)$$

которое совпадает с уравнением Толмена. Если условиями малости считать значения $c_x \leq 10^{-3}$, $c_x \leq 10^{-2}$ и $c_x \leq 2 \cdot 10^{-2}$, то соответствующими областями применимости (10) будут $x \geq 43,9$ ($r \geq 13,2$ нм при $\delta \approx 0,3$ нм), $x \geq 13,3$ ($r \geq 4$ нм при $\delta \approx 0,3$ нм) и $x \geq 9,2$ ($r \geq 2,8$ нм при $\delta \approx 0,3$ нм).

Для случая, когда можно пренебречь последним слагаемым в знаменателе функции $F(x)$ в (2.9), получаем после интегрирования (2.8) слева от σ_∞ до σ и справа от ∞ до x

$$\sigma = A\sigma_\infty \frac{x}{\left[(x^2 + 2x + 2)\right]^{1/2}} \exp[\text{arctg}(1 + x)] \quad (2.11)$$

$$\text{или} \quad \sigma = A\sigma_\infty \frac{r}{\left[(r^2 + 2\delta r + 2\delta^2)\right]^{1/2}} \exp\left[\text{arctg}\left(\frac{r + \delta}{\delta}\right)\right], \quad (2.12)$$

где $A = \exp(-\pi/2) \approx 0,207880$.

Уравнение (2.12) описывает зависимость поверхностного натяжения сферической частицы (с плотностью $\rho^{(\alpha)}$) в дисперсионной среде (с плотностью $\rho^{(\beta)}$) в более широком интервале размеров r , чем уравнение Толмена (2.10). Так, при условии $2[3x(x^2 + 2x + 2)]^{-1} \leq 10^{-3}$ зависимость σ от x или от r будет описываться выражениями (2.11) и (2.12) в интервале $x \geq 8$

или $r \geq 2,4$ нм при $\delta \approx 0,3$ нм. Следовательно, уравнение (2.12) может использоваться более часто, чем формула (2.10).

При очень малых значениях приведенного радиуса x функция $F(x) \rightarrow 0$ и из (2.8) следует формула

$$\sigma = Kx,$$

которая была получена ранее А.И. Русановым [19].

2.3. Размерная зависимость поверхностного натяжения сферических наночастиц при произвольных значениях радиуса кривизны. Результаты численных расчетов и их обсуждение

Для получения точного уравнения $\sigma(x)$, справедливого в изотермических условиях на всем интервале изменения радиуса частицы (от 0 до ∞), воспользуемся следующим представлением функции $F(x)$:

$$F(x) = \frac{x^2}{(x+a)(x^2+bx+c)}, \quad (2.13)$$

где $a = 0,5575$, $b = 1,4425$, $c = 1,1958$. Расчеты показывают, что при этих значениях величин a , b , c кубическое уравнение $x^3 + 2x^2 + 2x + 2/3 = 0$ имеет одно действительное и два мнимых решения (дискриминант $D > 0$).

Интегрирование (2.8) слева от σ_∞ до σ и справа от ∞ до x использованием (2.13) приводит к следующему уравнению:

$$\sigma(x) = A\sigma_\infty x \frac{\exp[1,6439 \operatorname{arctg}(1,2166x + 0,8774)]}{(x + 0,5575)^{0,4424} (x^2 + 1,4425x + 1,1958)^{0,2788}}, \quad (2.14)$$

где $A = \exp[-1,6439 \operatorname{arctg}(\infty)] = 0,0756$.

При переходе к переменной r искомое уравнение будет иметь вид:

$$\sigma(r) = A\sigma_\infty r \frac{\exp\left[1,6439 \operatorname{arctg}\left(\frac{1,2166r + 0,8774\delta}{\delta}\right)\right]}{(r + 0,5575\delta)^{0,4424} (r^2 + 1,4425\delta r + 1,1958\delta^2)^{0,2788}}. \quad (2.15)$$

Из полученного выражения (2.15) следует, что с уменьшением размера r (или x) поверхностное натяжение монотонно уменьшается и при $r \rightarrow \infty$ ($x \rightarrow 0$) достигает нулевого значения ($\sigma \rightarrow \infty$). С увеличением r (или x) значения σ возрастают тоже монотонно, и при $r \rightarrow \infty$ ($x \rightarrow \infty$) стремятся к значению для плоской поверхности σ_∞ . В этом выражении для σ от специфики рассматриваемой системы зависят значения σ_∞ и δ . Поэтому кривая в безразмерных координатах $\sigma(r)/\sigma_\infty - r/\delta$, показанная на рис. 1, носит универсальный характер и не зависит от конкретной природы дисперсной частицы (α) и дисперсионной среды (β).

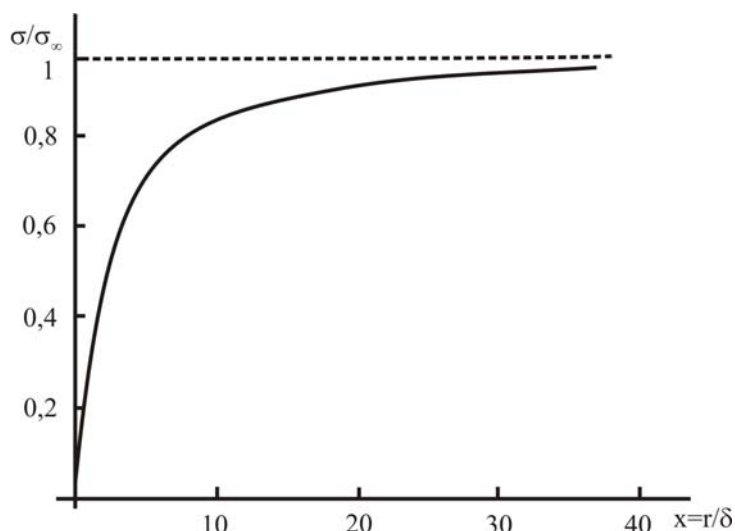


Рис. 1. Зависимость поверхностного натяжения от радиуса кривизны поверхности натяжения в безразмерных координатах (для случая положительной кривизны)

Нетрудно видеть, что эта кривая, справедливая для рассматриваемого случая положительной кривизны в изотермических условиях, подходит асимптотически снизу к значению 1 ($\sigma(r)$ стремится к σ_∞ снизу).

Значения поверхностного натяжения в зависимости от радиуса кривизны для металлических капель сферической формы Cu, Au, Sn и Pb, рассчитанные нами, приведены на рис. 2. Там же приведены экспериментальные данные из работ [4] по размерной зависимости поверхностной энергии (автор называет так эту величину) малых частиц Au и Pb, полученные по кинетике испарения частиц в вакууме.

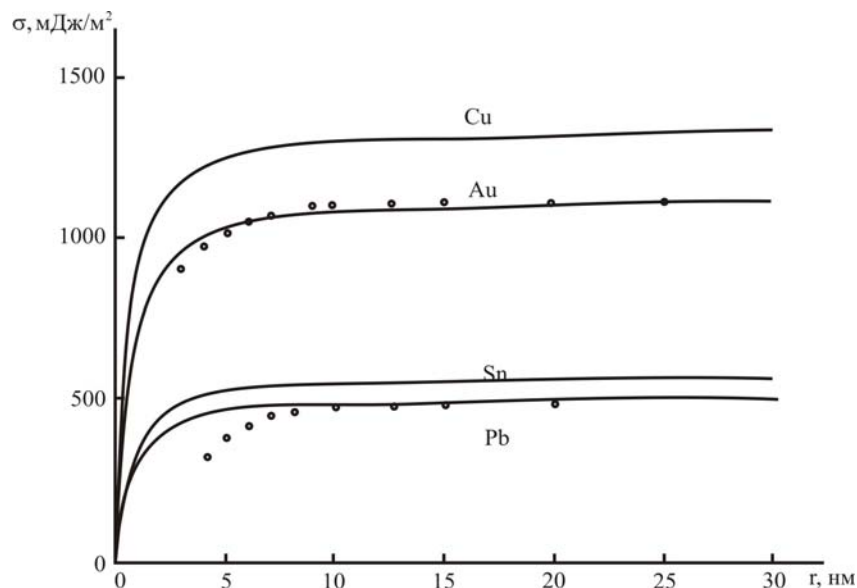


Рис. 2. Зависимость поверхностного натяжения жидких капель металлов (Cu, Au, Sn, Pb) от радиуса кривизны поверхности натяжения (сплошные – расчет по формуле (2.15), точки – экспериментальные данные по кинетике испарения наночастиц [5]).

При проведении расчетов для δ нами приняты значения 0,24 нм для Au, 0,26 нм для Sn и 0,29 нм для Pb [5]. Отметим, что эти данные завышены по сравнению с нашими данными, приведенными ниже (пункт 4.3, табл. 3), но они близки к оценкам, полученным с использованием эмпирического соот-

ношения из работы [20] $\alpha \approx 0,91(\nu / N_0)^{1/3}$ (в [5] для металлов вместо δ используется α) (цитируется по работе [21]). Так, для Au, Pb и Sn имеем соответственно: $\nu = 11,418 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{моль}$, $\alpha = 0,243 \text{ нм}$; $\nu = 19,165 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{моль}$, $\alpha = 0,288 \text{ нм}$; $\nu = 17,021 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{моль}$, $\alpha = 0,277 \text{ нм}$. Для Cu нами принято $\alpha = 0,215 \text{ нм}$, вычисленное по этому соотношению при $\nu = 7,941 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{моль}$. В работе [5] со ссылкой на работу [22] приводится другое соотношение $\alpha / 2 = 0,906(\nu_a)^{1/3}$, где ν_a – атомный объем. Для поверхностного натяжения жидких металлов при температуре плавления нами использованы данные из [23], и они имели значения (в мДж/м²) 1350 (Cu), 1020 (Au), 545 (Sn) и 463 (Pb).

В заключение отметим, что полученные выше выражения для $\sigma(r)$ позволяют рассчитать размерную зависимость межфазного натяжения на границах двух конденсированных фаз (например, твердая частица размера r в массивной жидкости) при наличии соответствующих значений δ для такой межфазной границы.

2.4. Поверхностное натяжение и параметр Русанова на сильно искривленных поверхностях с положительной кривизной (для очень малых наночастиц)

К настоящему времени достаточно много уже известно о свойствах слабо искривленных поверхностей, когда радиус кривизны намного больше толщины поверхностного слоя в одно- и многокомпонентных системах (см., например, [1, 3, 4, 11, 16, 24]). К ним можно отнести, в частности, результаты по влиянию слабого искривления поверхности на температуру фазового перехода (уравнения Томсона, Эпштейна), давления в сосуществующих фазах (уравнение Кельвина), растворимость частиц в матрице (уравнение Оствальда – Фройндлиха) и многие другие. Известны также уточнения размерных зависимостей, в частности, уравнения Кельвина и Оствальда – Фройндлиха, связанных с учетом членов более высокого порядка по кривизне поверхности [25].

Для малых объектов с сильно искривленной поверхностью нахождение размерных зависимостей свойств представляет сложную задачу, и они еще недостаточно изучены. Здесь возникают разнообразные специфические эффекты, связанные со сложными процессами в малых объектах. К ним, в частности, относятся отличия плотности и давления в центре малой частицы от их значений в объемной фазе, обусловленные эффектом перекрытия (или самоперекрытия) поверхностного слоя [2].

С другой стороны, строгие термодинамические уравнения по влиянию искривления на свойства поверхности, справедливые при любых значениях кривизны, получены в дифференциальной форме [1]. Исходя из них, в [19] для сильно искривленных поверхностей обосновано существование линейной зависимости поверхностного натяжения σ от радиуса поверхности натяжения r в изотермических условиях. Принципиальное значение, на наш взгляд, имеет результат, полученный в [1, 19] о симбатном изменении σ от r на сильно искривленных границах вплоть до обращения в нуль радиуса поверхности натяжения в системах с положительной и отрицательной кривизной. Напомним, что при малых искривлениях знак производной $(d\sigma/dr)_T$ зависит от знака кривизны и, в частности, с уменьшением радиуса жидкой капли в насыщенном паре поверхностное натяжение понижается, а для пузырька в жидкости, наоборот, возрастает.

За последнее время возрос интерес к вопросу о существовании линейной зависимости σ от r на сильно искривленных поверхностях. Так, в [26, 27], по мнению авторов, для размерной зависимости удельной поверхностной энергии (совпадающей с поверхностным натяжением на эквимолекулярной разделяющей поверхности) малых капель, различных по природе жидкостей

(ленnard–джонсовский флюид, полимерные и металлические расплавы), имеет место соотношение

$$\sigma(r) = \begin{cases} Kr, & \text{при } r \leq r_c \\ \sigma_\infty, & \text{при } r > r_c \end{cases}. \quad (2.16)$$

При этом значение критического радиуса r_c составляет от 2 до 10 нм [16]. В работе [28] предпринята попытка обработки экспериментальных данных по кинетике испарения частиц Pb, Ag и Au и кинетике усадки вакансионных пар пузырьков в Al и Cu в электронном микроскопе с использованием формулы $\sigma = Kr$ и формулы Толмена

$$\sigma = \sigma_\infty / (1 \pm 2\delta/r). \quad (2.17)$$

Во многих работах В.М. Самсонова с соавторами [см. например, 29, 30] значения параметра, называемого нами в дальнейшем параметром Русанова, для жидких капель различной природы найдены в рамках термодинамической теории возмущений по результатам компьютерных расчетов. Некоторые данные из [28, 31] для параметра K приведены в табл. 1.

Таблица 1

Параметр Русанова на сильно искривленных поверхностях жидкостей
в зависимости от характера кривизны

Жидкость	По формулам (2.18) и (3.8)					Литературные данные		
	T, К	σ_∞ , мДж/м ²	δ , нм	$K_- \times 10^{-10}$ мДж/м ³	$K_+ \times 10^{-10}$ мДж/м ³	T, К	$K_+ \times 10^{-10}$ м Дж/м ³	σ_∞ , мДж/м ²
пентан	293	16,00 [32]	0,63	1,29	0,77	263	5,4 [15]	—
гептан	293	20,30 [32]	0,51	2,02	1,21	293	6,1 [31]	—
декан	293	23,92 [32]	0,44	2,76	1,66	—	—	—
тридекан	293	26,10 [32]	0,27	4,90	2,94	—	—	—
гексадекан	293	27,60 [32]	0,07	20,00	12,00	293	5,4 [31]	—
вода	293	72,75 [32]	0,10	36,92	22,15	300	14,2 [31]	—
медь	1356	1350 [33]	0,22	311,38	186,81	853	50 [28]	—
золото	1336	1020 [33]	0,24 [34]	215,66	129,39	1348	30 [28]	—
серебро	1234	910 [33]	0,27	171,02	102,61	1026	27 [28]	—
олово	505	545 [33]	0,26 [34]	106,37	63,81	—	—	—
свинец	601	463 [33]	0,29 [34]	81,01	48,60	729	12 [28]	—
неон	22	5 [5]	0,071 [29]	3,57	2,14	—	2,7 [29]	16
аргон	83	14 [5]	0,090 [29]	7,89	4,74	—	5,8 [29]	42
криптон	117	17 [5]	0,106 [29]	8,14	4,88	—	6,6 [29]	51
ксенон	161	19 [5]	0,123 [29]	7,84	4,70	—	7,2 [29]	61

Представляет интерес дальнейшее изучение размерной зависимости поверхностного натяжения на сильно искривленных границах.

Актуальной задачей является разработка обоснованного метода расчета величины K , являющейся параметром состояния системы. Насколько нам известно, еще не ставился и не решался вопрос о различиях параметра K для одной и той же физической системы в зависимости от характера кривизны поверхности. Требуется рассмотреть также протяженность области линейного изменения σ от r на сильно искривленных поверхностях. Для нахождения численных значений параметра K устремим к нулю радиус частицы в формуле (2.15). Будем иметь

$$K_+ = \lim_{r \rightarrow 0} \frac{\sigma}{r} = B_+ \frac{\sigma_\infty}{\delta}, \quad (2.18)$$

где $B_+ = 0,3043$. В табл. 1 приведены результаты наших расчетов параметра K_+ на границе жидкость–пар для ряда веществ различной природы [35]. Там же приведены литературные данные для этих веществ. При проведении расчетов для пяти алканов (пентан, гептан, декан, тридекан, гексадекан) и воды значения толменовской длины δ рассчитывались нами по формуле (2.15) с использованием экспериментальных данных σ работы [32]. Для меди и серебра значения δ рассчитывались также нами, пользуясь соответствующим выражением из [34]. Из этих данных следует, что найденные нами значения параметра K для жидкостей различной природы по порядку величины согласуются с имеющимися литературными данными для поверхностей с положительной кривизной. При этом наши данные для поверхностей с положительной кривизной по численному значению меньше литературных данных для пентана и гептана и больше для воды и жидких металлов. Наибольшие расхождения обнаруживаются при сравнении рассчитанных данных с результатами экспериментов для капель жидких металлов, полученных по кинетике испарения частиц свинца, серебра и золота в работе [28] (отношение значений лежит в пределах от 3,74 до 4,31). В работе [28], к сожалению, не указана ошибка эксперимента, но, учитывая размеры жидких капель, она, видимо, достаточно велика при измерении поверхностного натяжения. Кроме того, по нашему мнению, внимательного анализа требуют кинетические уравнения, которые используются при обработке экспериментальных данных по скорости испарения, связанные с корректным учетом размерных эффектов в этом уравнении.

Представляет интерес оценка протяженности линейного участка на зависимости σ от r на сильно искривленных границах. В настоящее время количественно область применимости формулы $\sigma = Kr$ не исследована [29]. Нетрудно видеть, что отклонения от линейной зависимости связаны со значениями вторых слагаемых в (2.8). Очевидно, что здесь речь должна идти об эффективной протяженности линейного участка, соответствующей определенной наперед заданной малой величине, относительной разности значений σ , определяемой по формуле (2.8) и линейной зависимости σ от r . Здесь ситуация аналогична той, которая возникает при определении граничных точек на профиле локальных свойств в гетерогенной системе при переходе от одной объемной фазы к другой (так называемый принцип 10–90). Зададимся малой величиной между точным значением σ и значением σ_l , определяемым по формуле линейной зависимости, в виде:

$$\frac{|\sigma - \sigma_l|}{\sigma} = C_\sigma. \quad (2.19)$$

Пользуясь приведенными выше выражениями, будем определять значения Δx , удовлетворяющие условию (2.19). На рис. 3 приведены результаты, полученные нами таким путем для систем с положительной кривизной [35]. Видно, что с возрастанием значений задаваемой малой величины C_σ , как и должно быть, увеличивается область соблюдения линейной зависимости на кривой $\sigma(x)$. Расчеты показывают, что линейный участок на этих кривых на самом деле достаточно мал. При определении толщины переходного слоя по тому или иному локальному свойству (например, плотности и тангенциальной составляющей тензора давления в [36], концентрации и электронной плотности в [37]) наиболее часто в качестве малой величины принимается значение 0,1 %. Для такого значения область линейности в безразмерных координатах составляет $\Delta x \approx 0,139$ (нижняя вставка на рис. 3). При переходе к размерной величине область линейности составляет $\Delta r = \Delta x \cdot \delta$. Из всех жидкостей, приведенных в таблице, толменовская длина имеет наибольшее значение для пентана и составляет $\delta = 0,63$ нм.

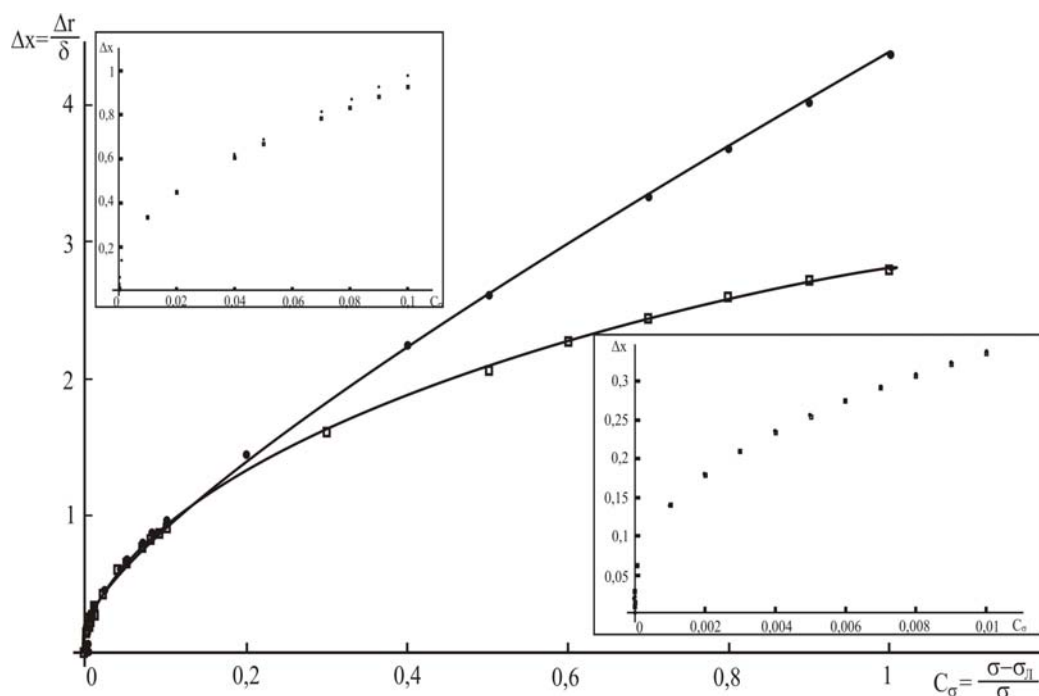


Рис. 3. Эффективная протяженность линейного участка на кривой $\sigma(x)$ в зависимости от относительной разности значений поверхностного натяжения, определяемых по формулам (2.15), (3.7) и $\sigma = Kr$ ($x = r/\delta$, $\bullet$, $\square$ – для поверхностей соответственно с положительной и отрицательной кривизной)

Область линейности на зависимости $\sigma(r)$ для пентана, следовательно, будет составлять $\Delta r = 0,088$ нм (или $0,88 \text{ \AA}$), что является очень малой величиной.

3. Поверхностное натяжение на границах с отрицательной кривизной в однокомпонентных системах

3.1. Основные соотношения для размерной зависимости поверхностного натяжения в системах с отрицательной кривизной

Объектом рассмотрения будет однокомпонентная система, состоящая из дисперсной фазы сферической формы (фаза β) и массивной дисперсионной среды (фаза α) [38]. В качестве разделяющей поверхности выберем поверхность натяжения, которая является механическим эквивалентом реальной искривленной поверхности с радиусом r и для которой выполняется условие $[\partial\sigma/\partial r] = 0$ [1,24]. Заключение этой производной в квадратные скобки указывает на мысленное перемещение разделяющей поверхности в пределах переходного слоя при неизменном физическом состоянии системы. Поверхностное натяжение, относящееся к поверхности натяжения, равно работе образования единицы поверхности [1].

При указанном выше расположении фаз, когда дисперсная фаза β располагается с вогнутой стороны от поверхности натяжения, избыточное давление Δp и радиус кривизны поверхности натяжения r_- будут иметь отрицательные значения и связаны соотношением

$$\Delta p = p^{(\alpha)} - p^{(\beta)} = \frac{2\sigma}{r_-}. \quad (3.1)$$

Введем в рассмотрение составляющие среднего молярного объема поверхностного слоя $v^{(\sigma)}$, расположенные со стороны α и β фаз и равные соответственно $\bar{\alpha}v^{(\sigma)}$ и $\bar{\beta}v^{(\sigma)}$, причем $\bar{\alpha} + \bar{\beta} = 1$.

В рамках термодинамики поверхности строго показано [1], что качественный характер зависимости межфазного натяжения σ от размера r на слабо искривленных поверхностях для одной и той же физической системы однозначно определяется знаком кривизны поверхности. Так, в однокомпонентной системе при слабом искривлении поверхности в противоположные стороны (капля жидкости в макроскопическом паре и пузырек в массивной жидкости) производная $(\partial\sigma/\partial r)_T$ меняет знак с положительного на отрицательный. Это видно из широко используемого на практике уравнения Толмена $\sigma(r) = \sigma_\infty / (1 + 2\delta R)$, где $R = 1/r$ – кривизна поверхности, δ – характерная для данной поверхности величина, которая для малых R имеет постоянное значение. Это уравнение, как будет показано ниже, может быть обоснованно именно для больших радиусов кривизны поверхности натяжения.

Представляет интерес получение аналитического выражения для зависимости поверхностного натяжения от размера дисперсной фазы с отрицательной кривизной во всей области изменения размера дисперсной фазы.

Из совместного решения (2.2), (2.3) и (3.1) для рассматриваемого случая будем иметь:

$$\frac{d\sigma}{\sigma} = - \frac{2x^2 + 2x + 2/3}{x^3 - 2x^2 - 2x - 2/3} \frac{dx}{x}. \quad (3.2)$$

Рассмотрим вначале некоторые частные случаи, вытекающие из последнего уравнения. Для анализа удобно представить множитель перед dx/x в (3.2) в виде

$$F(x) = \frac{1}{x} - \frac{x^2}{x^3 - 2x^2 - 2x - 2/3}. \quad (3.3)$$

При больших значениях x , когда в знаменателе второго слагаемого можно пренебречь последними тремя слагаемыми по сравнению с первым (принять условие $x^3 \gg (2x^2 + 2x + 2/3)$), $d\sigma/\sigma = 0$ и $\sigma = \sigma_\infty = \text{const}$, где σ_∞ – значение межфазного натяжения на плоской границе. Если условием малости считать $c_x = (2x^2 + 2x + 2/3)/x^3 \leq 10^{-3}$, то $\sigma = \sigma_\infty$ в области $x \geq 2001$ (при $\delta \approx 0,3$ нм это соответствует радиусу $r \geq 600,3$ нм). При таком приближении ($c_x \leq 0,1\%$), размерная зависимость межфазного натяжения начинает проявляться при размерах $x < 2001$ ($r < 600,3$ нм). Расчеты показывают, что размерная зависимость σ в случае положительной кривизны начинает проявляться при этих же размерах.

Если можно пренебречь последними двумя членами в знаменателе второго слагаемого в (3.3) ($(x^3 - 2x^2) \gg (2x + 2/3)$), то после интегрирования (3.2) будем иметь:

$$\sigma = \sigma_\infty / (1 - 2/x) \text{ или } \sigma = \sigma_\infty / (1 - (2\delta/r))^{-1}, \quad (3.4)$$

которое совпадает с уравнением Толмена для больших радиусов в случае отрицательной кривизны. Если условиями малости $c_x = (2x + 2/3)(x^3 - 2x^2)^{-1}$ считать $c_x \leq 10^{-3}$, $c_x \leq 10^{-2}$, $c_x \leq 2 \cdot 10^{-2}$, то соответствующими областями использования (3.4) будут соответственно значения $x \geq 45,9$, $x \geq 15,32$ и $x \geq 11,2$. При $\delta \approx 0,3$ нм соответствующие радиусы кривизны поверхности натяжения будут иметь значения 13,8 нм, 4,6 нм и 3,4 нм. Эти значения близки к

аналогичным данным в случае положительной кривизны, но в принципе они несколько больше по абсолютной величине. Так, при тех же значениях c_x в случае положительной кривизны они имеют соответственно значения 43,9, 13,3, 9,2 (при $\delta \approx 0,3$ нм для r соответственно 13,2, 4,0 и 2,8 нм). Таким образом, область применимости уравнения Толмена (3.4) в случае отрицательной кривизны несколько меньше по сравнению с аналогичной областью для поверхности с положительной кривизной.

В случае, когда в знаменателе второго слагаемого в (3.3) можно пренебречь последним слагаемым (т.е. $2/(3x^3 - 6x^2 - 6x) \approx 0$), для зависимости σ от x имеем:

$$\sigma = \frac{\sigma_{\infty} x}{\left| (x-p)^a (x-q)^{(1-a)} \right|}, \quad (3.5)$$

где p и q – корни уравнения $x^2 - 2x - 2 = 0$ ($p = 1 + \sqrt{3} = 2,732051$, $q = 1 - \sqrt{3} = -0,732051$), $a = 0,211325$. Если в качестве условия малости принять $c_x = 2/(3x^3 - 6x^2 - 6x) \leq 10^{-3}$, то уравнение (3.5) будет справедливо в области $x \geq 9,5$ (или при $\delta \approx 0,3$ нм $r \geq 2,9$ нм). Нетрудно видеть, что при $x=p$, в соответствии с (3.5), поверхностное натяжение на поверхности с отрицательной кривизной неограниченно возрастает ($\sigma \rightarrow \infty$). Аналогичное (при несколько другом значении x) имеет место, как это будет видно ниже, и при более точном решении уравнения (3.2). При x , стремящемся к 0 и ∞ , значения $\sigma(x)$, как следует из (3.5), тоже стремятся соответственно к 0 и σ_{∞} . Из изложенного выше следует, что уравнение (3.5) имеет обоснование в более широкой области, чем уравнение Толмена (3.4). Следовательно, уравнение (3.5) может более часто использоваться на практике, чем формула (3.2).

Для нахождения зависимости поверхностного натяжения от размера в случае отрицательной кривизны на всем интервале изменения x проинтегрируем (3.2) слева от σ_{∞} до σ и справа от ∞ до x . В результате будем иметь окончательно для искомой зависимости

$$\sigma = A_0 \sigma_{\infty} \frac{x \exp \left[0,111962 \arctg(3,572660x + 1,428140) \right]}{\left| \left(x^2 + 0,799483x + 0,238139 \right)^{0,120052} (x - 2,799483)^{0,759897} \right|}, \quad (3.6)$$

где $A_0 = 0,838728$.

Перейдя к r и δ , будем иметь из последнего

$$\sigma = A_0 \sigma_{\infty} \frac{r \exp \left[0,111962 \arctg \left(\frac{3,572660r + 1,428140\delta}{\delta} \right) \right]}{\left| \left(r^2 + 0,799483r\delta + 0,238139\delta^2 \right)^{0,120052} (r - 2,799483\delta)^{0,759897} \right|}. \quad (3.7)$$

Из полученных выражений (3.6) и (3.7) следует, что в области очень малых радиусов кривизны значения σ и x изменяются симбатно ($d\sigma/dx > 0$) и одновременно достигают нулевого значения ($\sigma = 0$ при $x = 0$). При приближении к значению $x_0 = 2,799483$ ($r_0 = 2,799483\delta$) значения σ резко возрастают и стремятся к бесконечности. При дальнейшем увеличении размера поверхностное натяжение вначале резко уменьшается и затем монотонно приближается сверху к предельному значению σ_{∞} для плоской поверхности.

3.2. Результаты численных расчетов $\sigma(r)$ для систем с отрицательной кривизной и их обсуждение

На рис. 4 приведена зависимость поверхностного натяжения от радиуса поверхности натяжения в безразмерных координатах $\sigma(r)/\sigma_\infty - r/\delta$ для случая отрицательной кривизны, полученная с использованием уравнения (3.6). Видно, что в области больших размеров ($r/\delta \rightarrow \infty$) значения σ/σ_∞ асимптотически приближаются сверху к значению 1. Обращает на себя внимание резкое возрастание поверхностного натяжения при $x = x_0$ в случае отрицательной кривизны поверхности (граница массивной жидкости с пузырьком сферической формы). Это, видимо, указывает на то, что такой пузырек (с таким радиусом) внутри жидкости не может существовать. Расчеты показывают, что при одинаковых размерах дисперсной фазы значения поверхностного натяжения для одного и того же вещества на границе с отрицательной кривизной (пузырек в жидкости или жидкая капля внутри твердого тела) больше, чем в случае положительной кривизны (жидкая капля в паровой фазе или твердая частичка в жидкости).

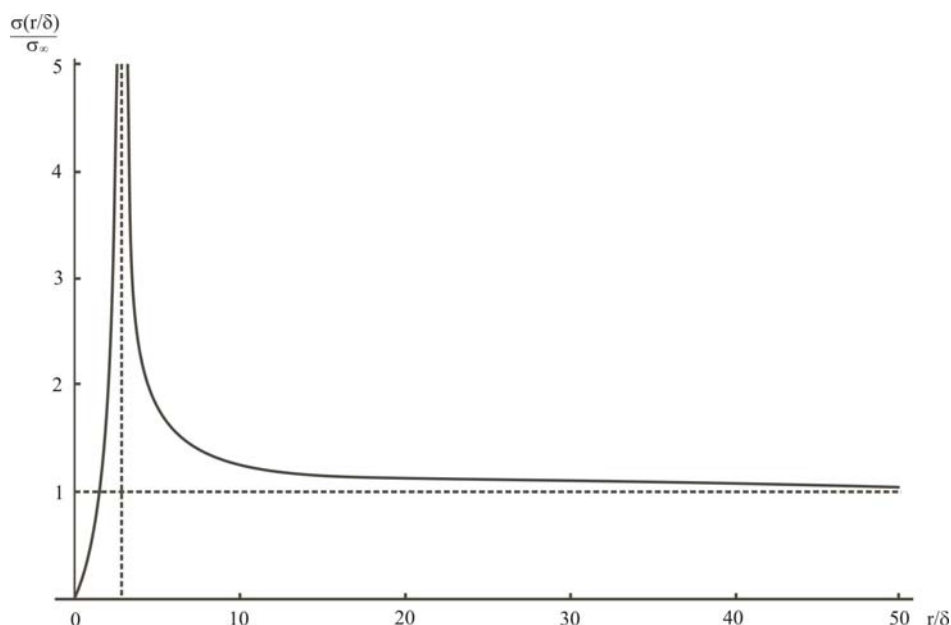


Рис. 4. Зависимость приведенного поверхностного натяжения от относительного значения радиуса поверхности натяжения в случае отрицательной кривизны

Такой вывод был сделан в [1], и он подтверждается в наших расчетах. Зависимости поверхностного натяжения σ от радиуса пузырька r в жидких металлах Cu, Au, Sn и Pb рассчитывались при температуре плавления металлов. Значения для σ_∞ для всех металлов были взяты из [33] и составляют в мДж/м² соответственно 1350 (Cu), 1020 (Au), 554 (Sn) и 463 (Pb). Значения толменовской длины δ брались из [39] и составляли в нм соответственно 0,24 (Au), 0,26 (Sn) и 0,29 (Pb). Для меди нами принято $\delta \approx 0,21$ нм, которое вычислено нами с использованием значения молярного объема по методике, указанной в [34]. Результаты расчетов, приведенные на рис. 5 и 6, показывают, что в интервале размеров $[r_0, \infty]$ значения $\sigma(r)$ больше, чем σ_∞ , и монотонно приближаются сверху к ним.

В работе [32] были проведены экспериментальные измерения поверхностного натяжения на вогнутой поверхности жидкость–пар. Гравиметрическим методом измерялось время, необходимое для насыщения предварительно обезгаженных мезопористых сфер из стекла «Вайкор» посредством гидродинамического впитывания жидкости.

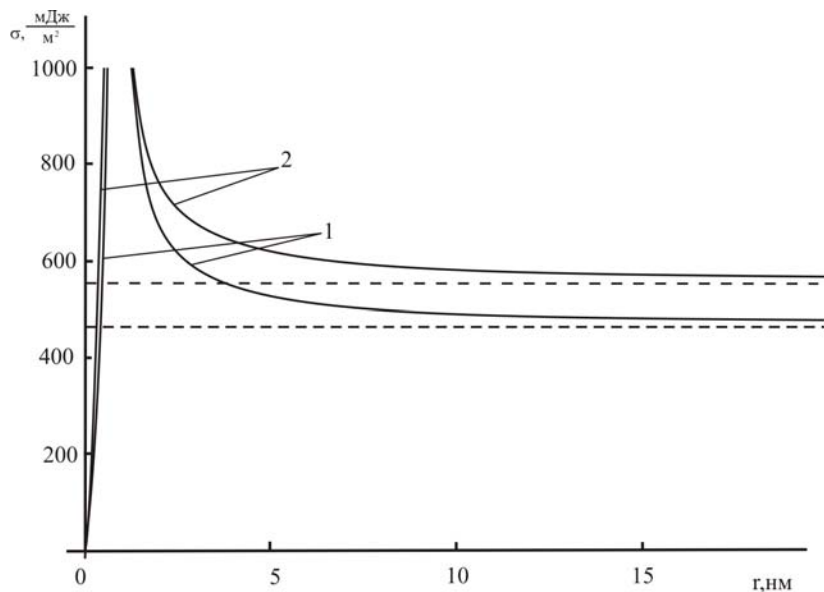


Рис. 5. Зависимость поверхностного натяжения на границе жидких металлов с пузырьком от радиуса поверхности натяжения при температуре плавления (1 – Pb, 2 – Sn)

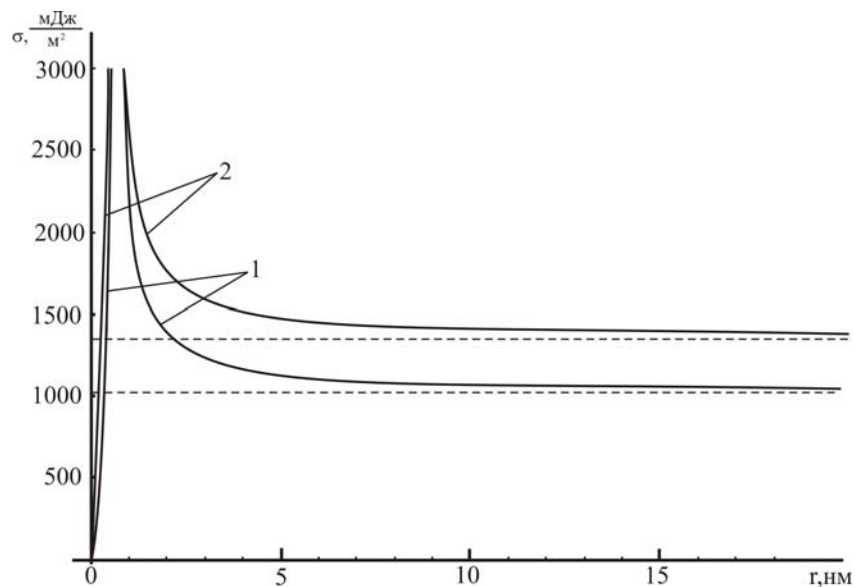


Рис. 6. Зависимость поверхностного натяжения на границе жидких металлов с пузырьком от радиуса поверхности натяжения при температуре плавления (1 – Au, 2 – Cu)

По этим экспериментальным данным с использованием уравнений непрерывности и капиллярности было получено, что на искривленной поверхности со средней кривизной $J = 2/r \approx -4,65 \cdot 10^6 \text{ c.m}^{-1}$, что соответствует радиусу $r = 4,3 \text{ нм}$, для воды и пяти алканов, поверхностные натяжения превышают поверхностные натяжения на плоской поверхности на 5–50 %. По уравнению Толмена, в виде $\sigma(r) = \sigma_\infty(1 - \delta J)$ с использованием экспериментальных данных по $\sigma(r)$, были рассчитаны значения δ , которые находились в пределах от 1 до $10 \text{ \AA}$ для этих жидкостей (табл. 2).

Таблица 2

Значения поверхностного натяжения и толменовской длины на поверхности с отрицательной кривизной при $|r| = 4,3 \text{ нм}$

жидкость	$\sigma_\infty, \text{мДж/м}^2$	Эксперимент [32]		Расчеты по уравнению (3.7)		
		$\sigma(r), \text{мДж/м}^2$	$\delta, \text{нм}$	$\sigma(r), \text{мДж/м}^2$ при значении δ из [24]	$\delta, \text{нм}$	
пентан	16,00	23,5	1,01	35,0704	0.63	23,47
гептан	20,30	27,1	0,72	32,1552	0.51	27,18
декан	23,92	30,6	0,60	34,2454	0.44	30,52
тридекан	26,10	30,0	0,32	30,8799	0.27	29,99
гексадекан	27,60	28,5	0,07	28,5367	0.07	28,54
вода	72,75	76,5	0,11	76,7268	0.10	76,34

Нами проведены расчеты по уравнению (3.7) для указанных выше шести жидкостей. Для σ_∞ и δ нами принимались значения, приведенные в работе [32]. Результаты расчетов для радиуса $r = 4,3 \text{ нм}$ приведены в табл. 2. Обращает на себя внимание превышение вычисленных значений поверхностного натяжения по сравнению с экспериментальными данными [32]. При сравнении этих данных, однако, надо иметь в виду, что в работе [32] толменовская длина δ определялась с использованием экспериментальных данных поверхностного натяжения и формулы Толмена (3.4). Полученные таким путем в [32] значения δ представляются завышенными, особенно для первых трех жидкостей. На это было обращено внимание в [40] при обсуждении значения δ для пентана, найденного в [32]. В соответствии с нашими оценками, приведенными выше, для поверхностей с отрицательной кривизной области применимости формулы Толмена при условиях малости (значениях $c_x = (2x^2 + 2x + 2/3)/x^3$), меньших соответственно 10^{-3} , 10^{-2} и $2 \cdot 10^{-2}$, были 45,98, 15,38 и 11,28. Для пентана при значении $\delta \approx 1,01 \text{ нм}$, приведенном в [32], областями применимости формулы Толмена будут соответственно размеры $r \geq 46,36 \text{ нм}$, 15,45 нм и 11,31 нм, что заметно превосходит радиус кривизны, имевшего место в мезопорах в экспериментах ($r = 4,6 \text{ нм}$) [32]. С использованием уравнения (3.7) и экспериментальных данных для $\sigma(r)$ при $r = 4,6 \text{ нм}$ [32] нами были найдены значения толменовской длины δ для всех указанных шести жидкостей, указанные в таблице. Нетрудно видеть, что вычисленные нами значения δ с использованием уравнения (3.7) ниже, по сравнению с аналогичными данными [32]. Особенно большие различия в значениях δ имеют место для первых трех жидкостей (60,3 %, 41,2 %, 6,7 %). Найденное нами для пентана значение $\delta = 6,3 \text{ \AA}$ гораздо лучше согласуется с грубой (но адекватной) оценкой Роулинсона и Уидома [11] для молекулярных систем $\delta = 2,2 \text{ \AA}$, проведенной с использованием соотношения $\delta = 1,12a/3$, где a – параметр парного потенциала.

3.3. Поверхностное натяжение и параметр Русанова на сильно искривленных поверхностях в случае отрицательной кривизны

Из (3.7), если устремить радиус кривизны к нулю, получаем для поверхности с отрицательной кривизной

$$K_- = \lim_{r \rightarrow 0} \frac{\sigma}{r} = B_- \frac{\sigma_\infty}{\delta}, \quad (3.8)$$

где $B_0 = 0,507431$. Из (3.8) и (3.7) следует чрезвычайно интересный вывод о зависимости численного значения коэффициента пропорциональности в формуле $\sigma = Kr$ от характера кривизны для одного и того же вещества. При этом по абсолютному значению величина $K = \lim_{r \rightarrow 0} \sigma/r$

для одного и того же вещества на границе с отрицательной кривизной больше по сравнению со случаем положительной кривизны. На рис. 7 в качестве примера приведены зависимости поверхностного натяжения от радиуса жидкой капли свинца на границе с насыщенным паром (кривая 1) и радиуса пузырька пара свинца в жидком расплаве свинца (кривая 2), рассчитанные по формулам (3.7) и (2.15) на всем интервале изменения кривизны поверхности. Нетрудно видеть, что для случая положительного искривления кривая $\sigma(r)$ с возрастанием r приближается снизу к значению на плоской поверхности σ_∞ . Для поверхности с отрицательной кривизной поверхностное натяжение не является непрерывной функцией r и характерно возрастание σ с уменьшением размера от ∞ до r_0 ($r_0 \approx 2,8 \cdot \delta$) и дальнейшее уменьшение σ до нуля при устремлении r к нулю. При этом скорость возрастания σ при изменении r в линейной области для одной и той же физической системы больше на поверхности с отрицательной кривизной по сравнению со случаем положительной кривизны.

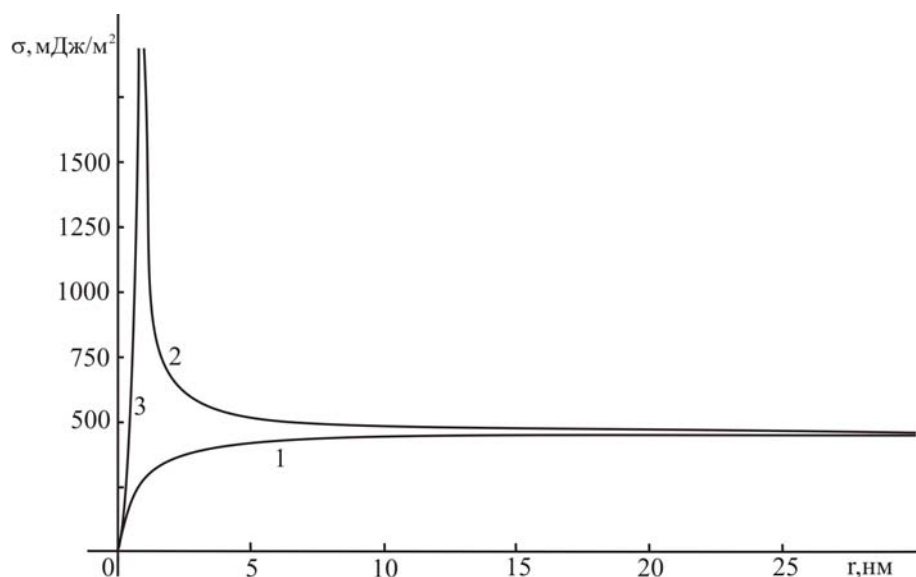


Рис.7. Зависимость поверхностного натяжения от радиуса поверхности натяжения для жидкого свинца в случаях положительного (кривая 1) и отрицательного (кривые 2 и 3) искривления поверхности ($T = 600 \text{ K}$, $\delta = 0,29 \text{ нм}$)

В табл. 1 приведены результаты наших расчетов параметра K_- на границе жидкость–пар для ряда веществ различной природы. Там же приведены литературные данные для этих веществ. При проведении расчетов для пяти алканов (пентан, гептан, декан, тридекан, гексадекан) и воды значения толменовской длины δ рассчитывались нами по формуле (3.7) с использованием экспериментальных данных σ для вогнутой поверхности с радиусом кривизны 4,3 нм из работы [32]. Для меди и серебра значения δ рассчитывались также нами, пользуясь соответствующим выражением из [36]. Результаты для поверхностей с отрицательной кривизной, к сожалению, не могут быть сравнимы с литературными данными ввиду отсутствия последних (они не известны авторам).

Представляет интерес оценка протяженности линейного участка на зависимости σ от r на сильно искривленных границах с отрицательной кривизной. На рис. 4 приведены результаты, полученные таким путем для систем с отрицательной кривизной. Видно, что с возрастанием значений задаваемой малой величины C_σ , как и должно быть, увеличивается область соблюдения линейной зависимости на кривой $\sigma(x)$. При этом протяженность линейного участка практически одинакова для поверхностей с положительной и отрицательной кривизной. Для значения $C_\sigma = 1\%$ линейная область составляет уже $\Delta r = 0,212$ нм и начинают проявляться различия между поверхностями с различным характером кривизны по рассматриваемому свойству поверхности. При этом область линейности для поверхностей с положительной кривизной несколько больше аналогичной величины для поверхностей с отрицательной кривизной. Если относительное различие между точными значениями σ и значениями, соответствующими линейной зависимости, составляет 10 %, то искомая протяженность области линейности для поверхности жидкого пентана с положительной кривизной (рис. 3, верхняя вставка) составляет 0,611 нм. При искривлении в другую сторону (пузырек пара в жидком пентане) для линейной области имеем значение 0,584 нм. Еще более ярко эти различия между поверхностями с различным характером кривизны проявляются, если допустить, что различия между значениями σ и σ_l по абсолютной величине ($|\sigma - \sigma_l|$) соизмеримы со значением σ . Для такого случая (рис. 3) соответственно для поверхностей с положительной и отрицательной кривизной имеем 2,646 нм и 1,743 нм. Из этих данных следует вывод о большей протяженности линейной области для одного и того же вещества на сильно искривленных поверхностях с положительной кривизной по сравнению со случаем отрицательной кривизны. Значения критического радиуса r_c , введенного в работах [15, 16, 29] в соответствии с выражением (2.16), составляют, по нашим расчетам $r_c \approx a\delta$, где постоянная a составляет 1,970711 и 3,28472 соответственно для поверхностей с положительной и отрицательной кривизной.

4. Параметр Толмена, автоадсорбция и поверхностное натяжение на плоских и искривленных поверхностях жидких металлов

4.1. Методы введения параметра Толмена и других характерных параметров размерного эффекта поверхностного натяжения

Установлению знака и численного значения параметра Толмена посвящено немало работ (см. например [2, 6, 11, 24, 41, 42–45]), однако до сих пор существует неоднозначность в трактовке этой величины. В работах [1, 11, 24, 41–42] этот параметр (δ) определяется как расстояние между эквимолекулярной разделяющей поверхностью r_e и поверхностью натяжения r_s для плоской границы раздела:

$$\delta = \lim_{r \rightarrow \infty} (r_e - r_s). \quad (4.1)$$

Выбор этих поверхностей осуществляется в соответствии с условиями $\bar{N} = N - N^{(\alpha)} - N^{(\beta)} = 0$ и $[d\sigma/dr] = 0$, где N – полное число частиц (молей) в системе, $N^{(\alpha)}$ и $N^{(\beta)}$ – числа частиц (молей) в фазах, расположенных по обе стороны от эквимолекулярной разделяющей поверхности, локальные свойства которых считаются неизменными до этой разделяющей поверхности, σ – поверхностное натяжение, относящееся к этой поверхности, r – радиус кривизны. Заключение производной от поверхностного натяжения σ по r в квадратные скобки указывает на мысленное изменение положения этой поверхности в пределах переходного слоя без изменения физического состояния системы. Термодинамическое рассмотрение Толмена [41–43] приводит к определению этого параметра как автоадсорбции для поверхности

натяжения Гиббса $\Gamma(r_s)$, отнесенной к разности плотностей числа частиц (молей) $\rho^{(\alpha)}$ и $\rho^{(\beta)}$ в сосуществующих объемных фазах:

$$\delta = \Gamma(r_s) / (\rho^{(\alpha)} - \rho^{(\beta)}). \quad (4.2)$$

В предельном случае больших радиусов (плоской поверхности) из (4.2) следует [42–43] наиболее известное выражение для параметра Толмена в виде (4.1). Другой метод введения параметра Толмена состоит в разложении поверхностного натяжения по малой кривизне и нахождении коэффициентов разложения:

$$\sigma_e(r_e) = \sigma_\infty \left(1 - \frac{2\delta_\infty}{r_e} + \frac{k}{r_e^2} + \dots \right), \quad (4.3)$$

где δ_∞ и k – коэффициенты, σ_∞ – поверхностное натяжение для плоской поверхности. При этом используются различные подходы, в том числе градиентное разложение по плотности вблизи критической точки [42–43], а также разные варианты статистико-механического рассмотрения [46–49].

Радиус эквимолекулярной разделяющей поверхности для частицы сферической формы, определяемой условием нулевой адсорбции для такой поверхности, выражается в виде:

$$\int_V \rho(\vec{r}) d\vec{r} = \frac{4\pi}{3} r_e^3 \rho^{(\alpha)} + \left(V - \frac{4\pi}{3} r_e^3 \right) \rho^{(\beta)}, \quad (4.4)$$

где V – полный объем системы. Радиус поверхности натяжения может быть определен из уравнения Кондо [24]:

$$P^{(\alpha)} - P^{(\beta)} = \frac{2\sigma_x}{r_x} + \left[\frac{d\sigma_x}{dr_x} \right], \quad (4.5)$$

где $P^{(\alpha)}$ и $P^{(\beta)}$ – давления в фазах α и β , σ_x – поверхностное натяжение искривленного поверхностного слоя, положив второе слагаемое равным нулю. Квадратная скобка в (4.5) указывает, что производная относится не к реальному физическому процессу изменения радиуса частицы, а к мысленному перемещению разделяющей поверхности. Пользуясь соотношением, связывающим поверхностное натяжение для эквимолекулярной разделяющей поверхности σ_e и поверхности натяжения σ_s [11, 24]

$$\frac{\sigma_e(r_e)}{\sigma_s(r_s)} = \frac{r_s^3 + 2r_e^3}{3r_s r_e^2}, \quad (4.6)$$

и формулой (4.5), можно найти для радиуса поверхности натяжения [50]:

$$r_s^3 = -2r_e^3 + 6r_e^2 \sigma_e(r_e) / (P^{(\alpha)} - P^{(\beta)}). \quad (4.7)$$

Формула Толмена для поверхностного натяжения имеет вид:

$$\sigma(r) = \sigma_\infty / \left(1 + 2\delta / r \right). \quad (4.8)$$

Это соотношение часто используется на практике в форме:

$$\sigma(r) = \sigma_\infty (1 - 2\delta / r). \quad (4.9)$$

Отметим, что формулы (4.8) и (4.9) справедливы для поверхностей малой кривизны (или больших радиусов кривизны) [24].

4.2. Основные соотношения для поверхностного натяжения, параметра Толмена и автоадсорбции на плоских и искривленных (включая область наноразмеров) поверхностях и их краткое обсуждение

Рассмотрим [51] вначале поверхностное натяжение σ_e , определяемое как избыточная свободная энергия $\bar{F}_e$ на единицу площади эквимолекулярной разделяющей поверхности

$$\sigma_e = \frac{\bar{F}_e}{\omega_e} = \frac{F - f_V^{(\alpha)} V_{\bar{N}=0}^{(\alpha)} - f_V^{(\beta)} V_{\bar{N}=0}^{(\beta)}}{\omega_e}, \quad (4.10)$$

где ω_e – площадь разделяющей поверхности, F – свободная энергия всей системы, $f_V^{(\alpha)}$, $f_V^{(\beta)}$ – плотности свободной энергии в объемных фазах α и β , $V_{\bar{N}=0}^{(\alpha)}$ и $V_{\bar{N}=0}^{(\beta)}$ – объемы фаз, расположенные по обе стороны от эквимолекулярной разделяющей поверхности ($V = V_{\bar{N}=0}^{(\alpha)} + V_{\bar{N}=0}^{(\beta)}$). Введем в рассмотрение еще одну разделяющую поверхность, определив ее положение условием:

$$\bar{F}_{\bar{F}=0} = F - f_V^{(\alpha)} V_{\bar{F}=0}^{(\alpha)} - f_V^{(\beta)} V_{\bar{F}=0}^{(\beta)} = 0, \quad (4.11)$$

где $V_{\bar{F}=0}^{(\alpha)}$ и $V_{\bar{F}=0}^{(\beta)}$ – объемы, на которые эта разделяющая поверхность делит объем всей системы ($V = V_{\bar{F}=0}^{(\alpha)} + V_{\bar{F}=0}^{(\beta)}$).

После ряда очевидных преобразований (4.10) с учетом (4.11) получим:

$$\sigma_e = (f_V^{(\beta)} - f_V^{(\alpha)}) \frac{\Delta V_{eF}}{\omega_e}, \quad (4.12)$$

где $\Delta V_{eF} = V_{\bar{N}=0}^{(\alpha)} - V_{\bar{F}=0}^{(\alpha)}$. При этом, используя условия, определяющие положение указанных выше двух разделяющих поверхностей, получаем:

$$\Delta V_{eF} = \frac{N - \rho^{(\beta)} V}{\rho^{(\alpha)} - \rho^{(\beta)}} - \frac{F - f_V^{(\beta)} V}{f_V^{(\alpha)} - f_V^{(\beta)}} = \int_{(V)} \left[\frac{\rho(\vec{r}) - \rho^{(\beta)}}{\rho^{(\alpha)} - \rho^{(\beta)}} - \frac{f_V(\vec{r}) - f_V^{(\beta)}}{f_V^{(\alpha)} - f_V^{(\beta)}} \right] d\vec{r}, \quad (4.13)$$

где $\rho(\vec{r})$ и $f_V(\vec{r})$ – плотности вещества и свободной энергии в переходном слое. Если частица (дисперсная фаза α), находящаяся в дисперсионной среде (фаза β), имеет сферическую форму, то

$$\sigma_e = (f_V^{(\beta)} - f_V^{(\alpha)}) \Delta r_{eF} \left[1 - \frac{\Delta r_{eF}}{r_e} + \frac{1}{3} \left(\frac{\Delta r_{eF}}{r_e} \right)^2 \right], \quad (4.14)$$

где $\Delta r_{eF} = r_e - r_F$, r_F – радиус разделяющей поверхности, соответствующий условию $\bar{F} = 0$.

При переходе к плоской поверхности ($r \rightarrow \infty$) последнее имеет вид:

$$\sigma_e = (f_V^{(\beta)} - f_V^{(\alpha)}) \Delta z_{eF}, \quad (4.15)$$

где $\Delta z_{eF} = z_e - z_F$ – расстояние между указанными выше разделяющими поверхностями, z_e и z_F – декартовы координаты разделяющих поверхностей. Повторив все предыдущие рассуждения относительно поверхности натяжения $[d\sigma/dr] = 0$ и разделяющей поверхности, отвечающей условию $\bar{F} = 0$, получаем:

$$\sigma_s = (f_V^{(\beta)} - f_V^{(\alpha)}) \Delta r_{sF} \left[1 - \frac{\Delta r_{sF}}{r_s} + \frac{1}{3} \left(\frac{\Delta r_{sF}}{r_s} \right)^2 \right], \quad (4.16)$$

$$\sigma_s = (f_V^{(\beta)} - f_V^{(\alpha)}) \Delta z_{sF}, \quad (4.17)$$

где $\Delta r_{sF} = r_s - r_F$, $\Delta z_{eF} = z_s - z_F$. Соотношения (4.15) и (4.17) можно представить в виде:

$$\sigma_e = \mu_b (\rho^{(\beta)} - \rho^{(\alpha)}) \Delta z_{eF}, \quad (4.18)$$

$$\sigma_s = \mu_b (\rho^{(\beta)} - \rho^{(\alpha)}) \Delta z_{sF}, \quad (4.19)$$

где μ_b – химический потенциал в объемной фазе (по условиям равновесия $\mu_b = \mu^{(\alpha)} = \mu^{(\beta)}$). Для плоской границы с паром $\rho^{(\alpha)} \gg \rho^{(\beta)}$, и учитывая, что $\mu_b < 0$, из (4.18) и (4.19) следует, что $\Delta z_{eF} > 0$ и $\Delta z_{sF} > 0$. Более того, необходимо полагать $\Delta z_{eF} = \Delta z_{sF}$, так как в пределе больших радиусов кривизны σ_e и σ_s стремятся к одному и тому же макроскопическому значению поверхностного натяжения σ_∞ . При этом в соответствии с [24]

$$\begin{aligned} \sigma_s(r_s) &= \sigma_\infty \left(1 - \frac{2\delta_\infty}{r_s} + \dots \right) \\ \sigma_e(r_e) &= \sigma_\infty \left(1 - \frac{2\delta_\infty}{r_e} + \dots \right). \end{aligned} \quad (4.20)$$

В работе [11] сделан вывод о том, что величина σ не зависит от формального выбора разделяющей поверхности до членов порядка δ/r . Аналогичный вывод сделан в рамках метода функционала плотности в работе [43] (различия между σ_e и σ_s проявляются во втором порядке по малому параметру δ_∞/r_s), где для асимптотик $\sigma_e(r_e)$ и $\sigma_s(r_s)$ в квазиплоском приближении принимаются $\sigma_e = \sigma_\infty (1 - 2\delta_\infty/r_e)$ и $\sigma_s = \sigma_\infty (1 - 2\delta_\infty/r_s)$. Из изложенного выше следует, что для случая плоской поверхности $\Delta z_{eF} = \Delta z_{sF} = 2\delta_\infty$. Соотношение $\delta_{sF} \simeq 2\delta$ для больших размеров кривизны можно получить также, используя (4.5), (4.9) и уравнение

$$(S^{(\beta)} - S^{(\alpha)})dT - v^{(\beta)}dP^{(\beta)} + v^{(\alpha)}dP^{(\alpha)} = 0,$$

где $S^{(\alpha)}$ и $S^{(\beta)}$ – энтропии в фазах. Они позволяют получить выражение

$$\frac{\Delta z_{sF}}{r_s} = \frac{P^{(\beta)}v^{(\alpha)}}{RT} + \frac{2\delta}{r_s} \left(1 - \frac{P^{(\beta)}v^{(\alpha)}}{RT} \right), \quad (4.21)$$

из которого следует этот результат.

Получим выражения для макроскопического значения поверхностного натяжения, пользуясь (4.18) или (4.19). Химический потенциал, фигурирующий в этих соотношениях, может быть найден, считая пар при температуре тройной точки идеальным газом (чаще всего одноатомным) [52] в виде $\mu = RT \ln(cV_Q)$ [53], $c = \rho^{(\beta)} = P/kT$, P – давление, k – постоянная Больцмана, V_Q – квантовый объем. Для границы жидкость–пар, допуская $v^{(\alpha)}/v^{(\beta)} \ll 1$, будем иметь:

$$\sigma_\infty = \frac{RTD}{A} |\ln \lambda| \cdot \Delta z, \quad (4.22)$$

$$\sigma_\infty = 2\delta \frac{D}{A} RT |\ln \lambda| \quad (4.23)$$

$$\lambda = \left(\frac{2\pi\hbar^2}{a_0 A} \right)^{3/2} \cdot \frac{P}{(kT)^{5/2}},$$

A – атомная масса, $a_0 = 1,6604 \cdot 10^{-24}$ г, D – плотность жидкости (в г/см³).

Теперь попробуем оценить расчетным путем величину параметра Толмена. Для него будем иметь, исходя из (4.13),

$$\delta = \frac{1}{2} \int_{-\infty}^{\infty} \left[\frac{\rho(z) - \rho^{(\beta)}}{\rho^{(\alpha)} - \rho^{(\beta)}} - \frac{f_V(z) - f_V^{(\beta)}}{f_V^{(\alpha)} - f_V^{(\beta)}} \right] dz. \quad (4.24)$$

После несложных преобразований получим для границы с паром

$$\delta = \frac{1}{2} \int_{-\infty}^{\infty} \left[1 - \frac{f(z)}{f^{(\alpha)}} \right] \frac{\rho(z)}{\rho^{(\alpha)}} dz, \quad (4.25)$$

где $f(z)$ и f_b – свободные энергии на моль в переходном слое и конденсированной фазе. Для приблизительной оценки δ перейдем к усредненному значению величины $f(z)$ по переходному слою $f(z) \cong f^{(\sigma)}$ и воспользуемся локально-координационным приближением, согласно которому $(u - u^{(\sigma)})/u \cong \Delta n/n$, где u и $u^{(\sigma)}$ – внутренняя энергия на моль в объеме и на поверхности. В таком случае

$$\frac{f - f^{(\sigma)}}{f} = \frac{u - u^{(\sigma)}}{u} \frac{1 - T \frac{S - S^{(\sigma)}}{u - u^{(\sigma)}}}{1 - T \frac{S}{u}} \cong \alpha \frac{\Delta n}{n}, \quad (4.26)$$

где S и $S^{(\sigma)}$ – мольные значения энтропии в объемной фазе и поверхностном слое. Покажем, что величина $\alpha \sim \Delta H/|\mu|$, где ΔH – теплота испарения. В [54] получено для макроскопического значения поверхностной энергии:

$$\bar{u} = \frac{\Delta H - RT}{v} \Delta z_{\bar{u}}, \quad (4.27)$$

где $\Delta z_{\bar{u}}$ – расстояние между эквимолекулярной разделяющей поверхностью и поверхностью нулевой когезионной энергии. Соотношения (4.23) и (4.27) совместно с уравнением Гиббса – Гельмгольца $\bar{u} = \sigma - T(d\sigma/dT)$ позволяют получить:

$$\frac{\Delta z_{\sigma}}{\Delta z_u} = \frac{\Delta H - RT}{|\mu|} (1 - \beta T)^{-1}, \quad (4.28)$$

где $\beta = \frac{1}{\sigma} \frac{d\sigma}{dT} \ll 1$. Нетрудно видеть, что левая часть (4.28) равна α , так как

$$\Delta z_u = \int_{-\infty}^{\infty} \left[1 - \frac{u(z)}{u} \right] \frac{\rho(z)}{\rho^{(\alpha)}} dz \quad (4.29)$$

и имеют место соотношения (4.25) и (4.26). Из этих рассуждений вытекает, что $\alpha \sim \Delta H/|\mu|$ (для металлов $RT/\Delta H \ll 1$). Следовательно, α пропорционально отношению координационных чисел на поверхности и в объеме ($\alpha \sim n^{(\sigma)}/n$), так как испарение происходит с поверхности и связано с разрывом всех межчастичных связей в поверхностном слое ($\Delta H \sim n^{(\sigma)}$), а величина химического потенциала в объеме пропорциональна координационному числу в объеме ($\mu \sim n$).

Интеграл $\int_0^{\tau_p} \frac{\rho(z)}{\rho} dz$, пользуясь системой сравнения, где свойства объемных фаз считаются неизменными вплоть до используемой в работе эквимолекулярной разделяющей поверх-

ности, можно заменить равным ему интегралом $\int_0^{\tau_\rho} \frac{\rho(z)}{\rho} dz = \tau_\rho^{(k)}$, где τ_ρ – общая толщина переходного слоя, определяется по плотности, $\tau_\rho^{(k)}$ – некая толщина со стороны конденсированной фазы с плотностью $\rho = \rho^{(\alpha)}$, обеспечивающая равенство указанных выше интегралов. Нахождение этой величины $\tau_\rho^{(k)}$ для расплава вблизи температуры плавления, а также относительного числа недостающих соседей $\Delta\bar{n}/n$ с учетом основных кристаллических структур предплавления можно осуществить на основании статистических соображений. Так, в соответствии с [55]

$$\bar{n}_s = n_0^{(s)} \sum_i x_i, \quad (4.30)$$

$$\frac{\Delta\bar{n}}{n} = \frac{\sum_i \frac{\Delta n_i}{n} x_i}{\sum_i x_i}, \quad (4.31)$$

где $x_i = \exp\left[\frac{-\gamma\Delta n_i}{kT}\right]$, Δn_i – число недостающих соседей для i -границы, $n_0^{(s)}$ – число частиц на единице площади внутри металла, γ – коэффициент пропорциональности между работой, необходимой для перехода частиц из объема на поверхность, и числом недостающих соседей на поверхности. Учитывая, что в кристалле кубической системы имеется 6 граней (100), 12 граней (110) и 8 граней (111), для нахождения которых число недостающих соседей равно соответственно 1, 2 и 3, когда эти грани лежат на поверхности металла, можно рассчитать $\tau_\rho^{(k)}$ и $\Delta\bar{n}/n$ для основных структур предплавления металла. С учетом изложенного выше будем иметь для параметра Толмена

$$\delta = \frac{1}{2} \frac{\Delta\bar{n}}{n} \left(1 - \frac{\Delta\bar{n}}{n}\right) \bar{n}_s \frac{\nu}{N_0}, \quad (4.32)$$

где $\Delta\bar{n}/n(1 - \Delta\bar{n}/n)\bar{n}_s$ равна $0,771 \cdot 10^{15} \left(\frac{D}{A}\right)^{2/3}$, $0,842 \cdot 10^{15} \left(\frac{D}{A}\right)^{2/3}$ и $1,23 \cdot 10^{15} \left(\frac{D}{A}\right)^{2/3}$ соответственно для кубической объемноцентрированной, кубической гранецентрированной и гексагональной компактной структур предплавления металла.

В окончательном виде будем иметь для искомого параметра Толмена

$$\delta = \lim_{r \rightarrow \infty} (r_e - r_s) = B\nu^{1/3}, \quad (4.33)$$

где B равно $0,64 \cdot 10^{-9}$, $0,70 \cdot 10^{-9}$ и $1,02 \cdot 10^{-9}$ соответственно для ОЦК, ГЦК и ГПУ структур предплавления. Для жидкой ртути, имеющей ромбоэдрическую структуру предплавления, $B = 2,84 \cdot 10^{-9}$. Формула (4.33) показывает, что параметр Толмена действительно изменяется симбатно с молярным объемом жидкости и тем самым подтверждается вывод, сделанный выше с использованием формулы (4.23) и опытных данных по поверхностному натяжению жидких металлов.

4.3. Результаты численных расчетов δ , Γ и σ_∞

По формулам (4.22) и (4.23), пользуясь опытными значениями поверхностного натяжения, можно рассчитать Δz и δ , характеризующие структуру поверхностного слоя. Результаты таких расчетов параметра Толмена для 50 жидких металлов при температуре плавления приведены в табл. 3. Там же приведены наиболее надежные значения входных величин, используемых в расчетах [52, 56, 59–61]. Анализ расчетных показывает, что для всех жидких металлов параметр δ является положительной величиной по знаку и сравнительно малой по абсолютному значению (по отношению к среднему межмолекулярному расстоянию в жидкости $d = \rho^{1/3}$).

Таблица 3

Параметр Толмена, автоадсорбция и поверхностное натяжение жидких металлов
и их объемные характеристики, используемые в расчетах

Ме струк. предпл. [59]	A [60]	T _{пл} , K [52]	D, г/см ³ [61]	p, мм.рт.ст. [52]	σ_s , $\frac{мДж}{м^2}$ [61]	$\delta_s \cdot 10^8$, см	σ_T , $\frac{мДж}{м^2}$	$\delta_T \cdot 10^8$, см	$\frac{\Delta\delta}{\delta}, \frac{\Delta\sigma}{\sigma}$ %	$\Gamma \cdot 10^{11}$ $\frac{моль}{см^2}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Li ОЦК	6,941	454	0,517	0,94·10 ⁻¹⁰	395	0,159	378	0,152	4,4	11,32
Na ОЦК	22,990	371	0,947	1,1·10 ⁻⁷	194	0,194	185	0,185	4,6	7,62
K ОЦК	39,100	337	0,820	8,22·10 ⁻⁷	102	0,235	101	0,232	1,3	4,86
Rb ОЦК	84,470	312	1,453	1,22·10 ⁻⁶	87	0,256	85	0,249		4,23
Cs ОЦК	132,90	303	1,840	1,50·10 ⁻⁶	69	0,261	71	0,267	-2,3	3,70
Be ОЦК	9,012	1559	1,420	3,68·10 ⁻²	1360	0,119	1360	0,119	0,0	18,75
Mg ГПУ	24,305	924	1,590	2,5	588	0,264	615	0,276	-4,5	18,06
Ca ОЦК	40,078	1122	1,450	1,79	328	0,191	331	0,193	-1,0	6,98
Sr ГЦК	87,62	1044	2,480	1,74	285	0,219	299	0,230	-5,0	6,51
Ba ОЦК	137,33	983	3,321	8,89·10 ⁻³	277	0,217	282	0,221	-1,8	5,34
Cu ГЦК	63,546	1356	8,039	4,355·10 ⁻⁴	1350	0,135	1400	0,140	-3,7	17,08
Ag ГЦК	107,868	1235	9,364	2,73·10 ⁻³	920	0,153	950	0,158	-3,3	13,72
Au ГЦК	196,470	1338	16,95	1,054·10 ⁻⁵	1170[56]	0,151	1224	0,158	-4,6	13,82
Zn ГПУ	65,390	693	6,59	1,58·10 ⁻¹	789[57]	0,248	760	0,239	3,6	24,09
Al ГЦК	26,981	933,5	2,37	2,74·10 ⁻⁹	930	0,153	960	0,158	-3,3	13,88
Ga ОЦК	69,720	302,9	6,072	3,12·10 ⁻³⁸	738	0,153	762	0,158	-3,3	13,76
In ОЦК ГЦК	114,82	429,8	7,12	9,12·10 ⁻²¹	586	0,185	513 561	0,162 0,177	12,4 4,3	10,05 10,98
Tl ОЦК ГЦК	204,383	576	11,31	3,53·10 ⁻⁸	464	0,199	392 429	0,168 0,184	15,1 7,5	9,30 10,19
Co ГЦК	58,933	1767	7,87	5,43·10 ⁻³	1830	0,141	1278	0,137	2,9	18,30
Ni ГЦК	58,690	1728	7,81	3,63·10 ⁻³	1770	0,139	1744	0,137	1,4	18,23
Rh ГЦК	102,9055	2236	10,80	4,22·10 ⁻³	1940	0,146	1980	0,149	-2,0	15,64

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Pt ГЦК	198,03	2045	19,00	$1,45 \cdot 10^{-4}$	1860	0,147	1898	0,150	-2,1	14,39
Ti ОЦК	47,880	1941	4,10	$3,41 \cdot 10^{-3}$	1390[30]	0,151	1336	0,145	4,0	12,42
Zr ОЦК	91,224	2128	5,80	$2,19 \cdot 10^{-5}$	1435	0,161	1435	0,161	0,0	10,24
Hf ОЦК	178,49	2500	12,0	$1,03 \cdot 10^{-3}$	1558	0,150	1631	0,157	-4,7	10,56
V ОЦК	50,941	2190	6,9	$2,40 \cdot 10^{-2}$	1900	0,121	1963	0,125	-3,3	16,93
Nb ОЦК	92,906	2740	7,57	$8,97 \cdot 10^{-4}$	2040	0,150	2013	0,148	1,3	5,83
Ta ОЦК	180,948	3287	15,0	$5,68 \cdot 10^{-3}$	2400[30]	0,147	2403	0,147	0,0	12,19
Cr ОЦК	51,996	2163	6,28	4,48	1540	0,133	1505	0,130	2,3	15,70
Mo ОЦК	95,94	2893	9,34	$3,47 \cdot 10^{-2}$	2130	0,137	2161	0,139	-1,5	13,53
W ОЦК	183,85	3653	8,72	$3,16 \cdot 10^{-2}$	2530	0,132	2722	0,142	-7,6	6,74
Mn ГЦК	54,938	1517	5,72	$9,20 \cdot 10^{-1}$	1090	0,152	1069	0,149	2,0	15,51
Re ОЦК	186,207	3460	18,9	$2,99 \cdot 10^{-2}$	2780	0,132	2906	0,138	-4,5	14,01
Sn ОЦК	118,71	505,06	6,91	$5,02 \cdot 10^{-23}$	589	0,157	619	0,165	-5,7	9,60
Pb ГЦК	207,2	600,6	10,85	$4,10 \cdot 10^{-9}$	455	0,188	453	0,187	0,5	6,24
Bi ОЦК	208,98	544,6	9,981	$2,056 \cdot 10^{-2}$	375	0,186	355	0,176	5,4	8,41
Hg ромб	200,59	234	13,6	$2,226 \cdot 10^{-6}$	497	0,502	517	0,522	-4,0	35,39
Tb ОЦК	158,92	1630	7,24[48]	$7,904 \cdot 10^{-3}$	700	0,157	798	0,179	-14	8,16
Os ОЦК	190,2	3300	20,1	$2,58 \cdot 10^{-2}$	2500	0,124	2722	0,135	-8,9	14,27
Ge ОЦК	140,12	1077	6,685	$3,055 \cdot 10^{-11}$	794	0,179	785	0,177	1,1	8,44
Pr ОЦК	140,908	1205	6,611	$1,854 \cdot 10^{-7}$	706	0,187	668	0,177	4,8	8,30
Gd ОЦК	157,25	1585	7,14	$1,414 \cdot 10^{-5}$	830[58]	0,183	810	0,179	2,4	8,13
Th ОЦК	232,038	2023	10,5	$1,596 \cdot 10^{-6}$	1108[57]	0,167	1194	0,18	-7,8	8,14
U ОЦК	238,029	1407	17,90	$1,9 \cdot 10^{-10}$	1453	0,159	1380	0,152	4,4	11,43
La ОЦК	138,905	1194	5,955	$1,0 \cdot 10^{-9}$	745	0,180	757	0,183	-1,7	7,85

При этом обнаруживается симбатное изменение δ_s с молярным объемом конденсированной фазы. Расчеты показывают, что с повышением температуры величина δ (и Δz) растет с температурой, что можно связать, так же, как и в случае поверхностной энергии [54], с увеличением диффузности и толщины поверхностного слоя. В этой же таблице приведены теоретические значения параметра Толмена δ_t , рассчитанные по формуле (4.33). Нетрудно видеть, что значения δ_s , найденные с использованием экспериментальных данных по поверхностному натяжению, вполне удовлетворительно согласуются с теоретическими значениями, найденными по формуле (4.33). При этом относительная разница между δ_s и δ_t для 40 (80 %) жидких металлов не превышает 5 %. Достаточно хорошее совпадение наблюдается для щелочных и щелочноземельных металлов, металлов подгруппы меди, титана, ванадия, хрома, марганца, металлов VIII группы, а также лантаноидов (за исключением Tb) и актиноидов (U, Th).

Для жидкого железа вблизи температуры плавления, по мнению авторов [62], характерна ГЦК-квазиструктура, авторов [63, 64–66] – ОЦК. В работе [67] предполагается сосуществование этих двух квазиструктур. По нашим данным, лучшее согласие с опытом имеет место для ГЦК-квазиструктуры. Согласие с опытом улучшается для индия и таллия, если предположить (что не лишено смысла в соответствии с [68]) для жидкого состояния при температуре плавления ГЦК-квазиструктуру. Сравнение найденных в настоящей работе значений параметра Толмена для жидких металлов с литературными данными затруднено в силу малочисленности последних. Для натрия и алюминия в жидком состоянии наши данные по порядку величины согласуются с результатами компьютерных расчетов в [31]. Результаты, приведенные в [58] для жидких металлов, на порядок больше наших данных. Для цезия при температуре тройной точки с использованием метода функционала плотности в [69] найдено $\delta=0,086$ нм, что по порядку величины согласуется с результатом настоящей работы ($\delta=0,027$ нм).

Результаты расчетов поверхностного натяжения 50 жидких металлов при температуре плавления на плоской поверхности по формуле

$$\sigma_\infty = \frac{2RT}{\nu^{2/3}} |\ln \lambda|, \quad (4.34)$$

которая следует из (4.23) и (4.33), приведены в табл. 3. Нетрудно видеть, что для 40 металлов (80 %) вычисленные значения согласуются с наиболее надежными экспериментальными данными с точностью до 5 %. Значения величины δ позволяют рассчитать автоадсорбцию Γ на поверхности натяжения при $r \rightarrow \infty$. Так, для поверхности натяжения и эквимолекулярной разделяющей поверхности соответственно имеем:

$$\Gamma = \frac{N - N_n^{(\alpha)} - N_n^{(\beta)}}{\omega_n}, \quad (4.35)$$

$$\Gamma_e = \frac{N - N_e^{(\alpha)} - N_e^{(\beta)}}{\omega_e}, \quad (4.36)$$

где $N_n^{(\xi)}$ и $N_e^{(\xi)}$ – числа частиц (молей), расположенных со стороны объемной фазы ξ ($\xi=\alpha, \beta$) соответственно от указанных выше двух разделяющих поверхностей с площадями ω_e и ω_n . Если учесть, что $\Gamma_e=0$, из (4.35) и (4.36) следует:

$$\Gamma_e = \frac{\rho^{(\alpha)} - \rho^{(\beta)}}{\omega_n} \Delta V, \quad (4.37)$$

где $\Delta V = V_e^{(\alpha)} - V_n^{(\alpha)}$ – разность объемов, расположенных со стороны объемной фазы α от эквимолекулярной разделяющей поверхности и поверхности натяжения. Для частицы сферической формы

$$\Delta V = \omega_n \delta \left(1 + \frac{\delta}{r} + \frac{1}{3} \frac{\delta^2}{r^2} \right) \quad (4.38)$$

и при $r \rightarrow \infty$ имеем

$$\Gamma = \delta (\rho^{(\alpha)} - \rho^{(\beta)}). \quad (4.39)$$

Для границы жидкость–пар $\rho^{(\beta)} \ll \rho^{(\alpha)}$ последнее может быть записано в виде

$$\Gamma = \frac{1}{2} \frac{\Delta \bar{n}}{n} \left(1 - \frac{\Delta \bar{n}}{n} \right) \bar{n}_s = K \nu^{-2/3}, \quad (4.40)$$

где коэффициент К равен $0,386 \cdot 10^{15}$; $0,421 \cdot 10^{15}$ и $0,615 \cdot 10^{15}$ соответственно для объемно-центрированной и гранецентрированной кубических структур, а также гексагональной плотноупакованной структуры. Для ртути, имеющей ромбоэдрическую структуру предплавления, $K = 1,710 \cdot 10^{15}$. Результаты численных расчетов автоадсорбции для поверхности натяжения жидких металлов при температуре плавления приведены в табл. 3. Из этих данных следует, что с увеличением мольного объема автоадсорбция уменьшается.

Зависимость поверхностного натяжения жидкой металлической капли сферической формы от радиуса поверхностного натяжения рассчитывались по формуле:

$$\sigma = \frac{RT}{\nu} |\ln \lambda| \Delta z \left[1 - \frac{\Delta z}{r} + \frac{1}{3} \left(\frac{\Delta z}{r} \right)^2 \right]. \quad (4.41)$$

Для всех металлов, как следует из табл. 4, с уменьшением радиуса кривизны (увеличением кривизны) наблюдается уменьшение поверхностного натяжения.

5. Зависимость поверхностного натяжения наночастицы сферической формы от радиуса кривизны в неизотермических условиях

5.1. Постановка задачи. Обоснование выбора варианта фиксации в одной из сосуществующих фаз

В литературе наиболее подробно обсуждалась зависимость поверхностного натяжения от раздела в изотермических условиях. Известное уравнение Гиббса – Толмена – Кенига – Баффа

$$\frac{1}{\sigma} \left(\frac{d\sigma}{dr} \right)_T = \frac{\frac{2\delta}{r^2} \left[1 + \frac{\delta}{r} + \frac{1}{3} \left(\frac{\delta}{r} \right)^2 \right]}{1 + \frac{2\delta}{r} \left[1 + \frac{\delta}{r} + \frac{1}{3} \left(\frac{\delta}{r} \right)^2 \right]} \quad (5.1)$$

получается из фундаментальных уравнений термодинамики поверхности при условии постоянства температуры ($T = \text{const}$). Между тем, с изменением размера при сохранении равновесия дисперсной фазы с дисперсионной средой меняются значения основных параметров состояния (в однокомпонентной системе $T, P^{(\alpha)}, P^{(\beta)}$). При этом во многих случаях вызывает интерес влияние кривизны поверхности на температуру сосуществующих фаз.

Таблица 4

Размерная зависимость поверхностного натяжения жидких металлов

Радиус $r \cdot 10^7, \text{см}$	Поверхностное натяжение $\sigma, \text{мДж/м}^2$				
	Na	Cs	Ag	Ni	W
0,1	131,07	38,71	659,90	1329,31	1879,50
0,5	178,00	61,89	863,08	1674,78	2389,02
1	187,09	65,38	891,23	1721,94	2458,83
2	190,43	67,17	905,54	1745,86	2494,24
3	191,62	67,78	910,41	1753,89	2506,12
4	192,21	68,08	912,75	1757,90	2512,08
5	192,57	68,27	914,20	1760,32	2515,66
10	193,28	68,63	917,10	1765,15	2522,82
20	193,64	68,82	918,55	1767,58	2526,41
30	193,76	68,88	919,03	1768,38	2527,61
40	193,82	68,91	919,27	1768,79	2528,20
50	193,86	68,93	919,42	1769,03	2528,56
100	193,93	68,96	919,71	1769,52	2529,28
200	193,96	68,98	919,86	1769,76	2529,64
∞	194,00	69,00	920,00	1770,00	2530,00

В наиболее общем виде дифференциальные уравнения, описывающие размерные зависимости основных параметров равновесия, получены в работах А.И. Русанова [1]. Они являются, как отмечено в [1], точными дифференциальными уравнениями, справедливыми как при больших, так и при сколь угодно малых радиусах кривизны. Из анализа этих уравнений следует, что для системы жидкость–пар зависимость давления жидкой капли от радиуса кривизны выражена во много раз сильнее, чем для пара (пропорционально отношению мольных объемов пара и жидкости при больших радиусах кривизны). В литературе имеется достаточно много сведений о том, что упругость пара с уменьшением размера возрастает незначительно по сравнению с упругостью пара над поверхностью (всего на 1 % для капельки воды радиусом $r=100$ нм [70]). По этой причине ниже будем рассматривать зависимость поверхностного натяжения сферической частицы от радиуса кривизны в неизотермических условиях ($T \neq \text{const}$) при фиксации давления в дисперсионной среде ($P^{(\beta)} = \text{const}$). При таких условиях, в частности, из (2.2) и (2.3) можно показать, что изменение температуры сосуществования дисперсной фазы с дисперсионной средой при изменении размера дисперсной фазы в значительной степени определяется изменением поверхностного натяжения в таких же условиях:

$$(dT)_{P^{(\beta)}} \simeq -\frac{\nu^{(\alpha)} \cdot T}{\Delta H_{\alpha\beta}} d\left(\frac{2\sigma}{r}\right), \quad (5.2)$$

где $\nu^{(\alpha)}$ – молярный объем конденсированной фазы, $\Delta H_{\alpha\beta}$ – теплота фазового перехода.

5.2. Вывод дифференциального уравнения для зависимости поверхностного натяжения от кривизны поверхности в неизотермических условиях. Обобщение уравнения Гиббса–Толмена – Кенига – Баффа на случай ($T \neq \text{const}$ и $P^{(\beta)} = \text{const}$)

Обратимся к соотношениям (2.1)–(2.3), которые были использованы в пункте 2.1, и положим $P^{(\beta)} = \text{const}$. В результате будем иметь:

$$\frac{1}{\sigma} \frac{d\sigma}{dr} = \frac{\frac{2}{r^2} \left[\bar{\beta} v^{(\sigma)} - \rho v^{(\beta)} + v^{(\alpha)} \left(\frac{v^{(\sigma)} - v^{(\alpha)}}{v^{(\beta)} - v^{(\alpha)}} - \frac{S^{(\sigma)} - S^{(\alpha)}}{S^{(\beta)} - S^{(\alpha)}} \right) \right]}{\omega + \frac{2}{r} \left[\bar{\beta} v^{(\sigma)} - \rho v^{(\beta)} + v^{(\alpha)} \left(\frac{v^{(\sigma)} - v^{(\alpha)}}{v^{(\beta)} - v^{(\alpha)}} - \frac{S^{(\sigma)} - S^{(\alpha)}}{S^{(\beta)} - S^{(\alpha)}} \right) \right]}. \quad (5.3)$$

Все входящие в это уравнение величины были расшифрованы выше. Исходя из условий равновесия, можно показать, что

$$\frac{v^{(\sigma)} - v^{(\alpha)}}{v^{(\beta)} - v^{(\alpha)}} - \frac{S^{(\sigma)} - S^{(\alpha)}}{S^{(\beta)} - S^{(\alpha)}} = \frac{\Delta H_{\alpha\beta}}{T} \omega \frac{d\sigma}{dT}. \quad (5.4)$$

Из последних двух выражений следует уравнение

$$\frac{1}{\sigma} \frac{d\sigma}{dr} = \frac{\frac{2}{r^2} \left[\delta \left(1 + \frac{\delta}{r} + \frac{1}{3} \frac{\delta^2}{r^2} \right) + \frac{v^{(\alpha)} T}{\Delta H_{\alpha\beta}} \frac{d\sigma}{dT} \right]}{1 + \frac{2}{r} \left[\delta \left(1 + \frac{\delta}{r} + \frac{1}{3} \frac{\delta^2}{r^2} \right) + \frac{v^{(\alpha)} T}{\Delta H_{\alpha\beta}} \frac{d\sigma}{dT} \right]}, \quad (5.5)$$

которое является аналогом уравнения Гиббса – Толмена – Кенига – Баффа для случая, когда $T \neq \text{const}$ и $P^{(\beta)} = \text{const}$.

Введем также безразмерную величину $x = r/\delta$ и перепишем последнее в виде:

$$\frac{d\sigma}{\sigma} = \frac{dx}{x} - \frac{x^2}{x^3 + 2d_0 x^2 + 2x + 2/3} dx, \quad (5.6)$$

где $d_0 = 1 + \frac{v^{(\alpha)} \cdot T}{\delta \cdot \Delta H_{\alpha\beta}} \frac{d\sigma}{dT}$.

Это дифференциальное уравнение является основным соотношением для искомой зависимости поверхностного натяжения от безразмерного радиуса кривизны для случая $T \neq \text{const}$ и $P^{(\beta)} = \text{const}$.

Уравнение (5.6) может быть проанализировано, как это делалось выше, для различных областей размеров. Из такого анализа, в частности, следует, что при условии $T \neq \text{const}$ и $P^{(\beta)} = \text{const}$ на сильно искривленных границах также имеет место линейная зависимость поверхностного натяжения от размера. Возможность существования такой области для рассматриваемого случая была предсказана в [1].

При интегрировании (5.6) надо иметь в виду, что молярный объем $v^{(\alpha)}$, теплота фазового перехода $\Delta H_{\alpha\beta}$ и параметр Толмена зависят от температуры. При этом $\delta(T) \sim v^{1/3}$ и имеем

$$\delta(T) = B v^{1/3} \simeq \delta(T_{nl}) \left[1 - \frac{1}{3} \frac{1}{D} \frac{dD}{dT} (T - T_{nl}) \right], \quad (5.7)$$

где dD/dT – температурный коэффициент плотности, $\delta(T_{nl})$ – параметр Толмена при температуре плавления. В случае границы жидкость–пар для теплоты испарения можно использовать приближенное выражение [71]:

$$\Delta H(T) = \Delta H(T_{nl}) \left[1 - \frac{C_V^{(ж)} - C_p^{(n)}}{\Delta H(T_{nl})} (T - T_{nl}) \right], \quad (5.8)$$

где $C_V^{(ж)}$ и $C_p^{(n)}$ – соответственно теплоемкости для жидкости и пара. При этом для жидкого состояния в соответствии с законом Дюлонга – Пти можно принимать $C^{(ж)} \simeq 3R$, а пар можно считать идеальным и полагать $C_p^{(n)} \approx 1,5R$. При проведении расчетов можно использовать опытные или рассчитанные теоретически значения температурного коэффициента поверхностного натяжения.

5.3. Соотношения для зависимости поверхностного натяжения наночастицы от размера в неизотермических условиях

Нами вычислены значения d_0 в дифференциальном уравнении (5.6) для всех 50 металлов, указанных в табл. 3, при температуре плавления. Найденные значения являются положительными и лежат в интервале от 1,07766 для Ga до 2,21630 для Os. При этом для всех металлов, за исключением Mg, Pd и Os, значения d_0 лежат в интервале $1 < d_0 < 2$, в том числе для 18 металлов $d_0 < 1,5$, а для остальных $1,5 < d_0 < 2$. При таких значениях многочлен в знаменателе (5.6) можно разложить на множители:

$$x^3 + 2d_0x^2 + 2x + \frac{2}{3} = (x + a)(x^2 + bx + c). \quad (5.9)$$

Величины a , b и c взаимосвязаны между собой ($a + b = 2d_0$, $ab + c = 2$, $ac = 2/3$) и для всех указанных выше металлов при температуре плавления хорошо аппроксимируются полиномами шестой степени (величина достоверности аппроксимации $R^2 = 1$).

$$\left. \begin{aligned} a &= 0,5216d_0^6 - 0,9074d_0^5 + 0,5590d_0^4 - 0,0483d_0^3 + 0,0225d_0^2 + 0,0926d_0 + 0,3173 \\ b &= 0,5487d_0^6 + 0,9500d_0^5 - 0,5577d_0^4 + 0,0206d_0^3 - 0,0119d_0^2 + 1,9081d_0 - 0,3178 \\ c &= -0,5659d_0^6 + 0,9473d_0^5 - 0,6062d_0^4 + 0,0228d_0^3 - 0,1181d_0^2 - 0,3874d_0 + 2,1010 \end{aligned} \right\} \quad (5.10)$$

При таких значениях a , b и c дискриминант кубического уравнения (5.9) имеет положительное значение ($D > 0$), и само уравнение имеет одно действительное и два мнимых решения. Нами также проведены расчеты d_0 , a , b и c в интервале от температуры плавления до нуля для всех металлов (при положительной кривизне ожидаемые значения $\sigma(r)$ меньше σ_∞ , а также $T(r)$ меньше T_∞). В качестве иллюстрации результатов таких расчетов ниже приведены полиномы, описывающие температурные зависимости множителей a , b и c в (5.9) для натрия:

$$\left. \begin{aligned} a &= 0,5574 - 10^{-3}T + 3 \cdot 10^{-6}T^2 - 10^{-8}T^3 + 2 \cdot 10^{-11}T^4 - 10^{-14}T^5 \\ b &= 1,4426 - 1,3 \cdot 10^{-3}T - 4 \cdot 10^{-6}T^2 + 10^{-8}T^3 - 2 \cdot 10^{-11}T^4 - 10^{-14}T^5 \\ c &= 1,1958 + 2,2 \cdot 10^{-3}T - 4 \cdot 10^{-6}T^2 + 10^{-8}T^3 - 2 \cdot 10^{-11}T^4 + 10^{-14}T^5 \end{aligned} \right\} \quad (5.11)$$

Эти расчеты позволяют убедиться, что при всех температурах в интервале $0 < T < T_{пл}$ уравнение (5.9) имеет одно действительное и два мнимых решения.

С учетом изложенного выше можно проинтегрировать (5.6). В результате будем иметь:

$$\sigma(r) = A_0 \sigma_\infty r \frac{\exp[\sqrt{4c - b^2} \operatorname{arctg}\left(\frac{2r + \delta b}{\delta \sqrt{4c - b^2}}\right)]}{(r + \delta a)^{(1-a)} (r^2 + \delta br + \delta^2 c)^{a/2}}, \quad (5.12)$$

где $A_0 = \exp[-\sqrt{4c_0 - b_0^2} \operatorname{arctg}(\infty)]$, где c_0 и b_0 – значения этих величин при температуре плавления. Выражения (5.12) и (5.2) являются искомыми уравнениями для описания размерной

зависимости поверхностного натяжения при $T \neq \text{const}$ и $P^{(\beta)} = \text{const}$. При этом (5.2) можно записать в виде

$$\frac{r}{2} \int_T^{T_{nz}} \frac{\Delta H(T)}{\nu(T)} \frac{dT}{T} = \sigma. \quad (5.13)$$

Вычисление интеграла в левой части этого выражения с учетом температурной зависимости $\Delta H(T)$ и $\nu(T)$ не представляет трудностей. Из совместного решения (5.12) и (5.13) сначала можно найти значения температуры равновесия наночастицы с дисперсной средой в зависимости от радиуса частицы $T(r)$, и затем – найти зависимости σ от r . Нетрудно видеть, что при таком подходе величины a , b , c и δ в (5.12) зависят от радиуса частицы (через $T(r)$). Анализ этих уравнений и результаты численных расчетов для натрия, проведенные нами, показывают, что с уменьшением размера наночастицы уменьшаются температура равновесия и поверхностное натяжение ($dT/dr > 0$, $d\sigma/dr > 0$) и одновременно достигают нулевого значения при радиусе поверхности натяжения $r = r_n = 0$.

6. Поверхностная энергия наночапель жидких металлов

6.1. Поверхностная энергия на плоской поверхности. Расстояние между эквимолекулярной разделяющей поверхностью и разделяющей поверхностью нулевой когезионной энергии

Поверхностная энергия наряду с поверхностным натяжением является важнейшей термодинамической характеристикой поверхностного слоя между сосуществующими фазами.

Проведем расчет поверхностной энергии $\bar{u}$ наночастицы, находящейся в равновесии со своим насыщенным паром в изотермических условиях ($T = \text{const}$), исходя из тех же позиций, использованных выше для нахождения поверхностного натяжения. Будем принимать, что наночастица имеет сферическую форму с радиусом r . В качестве последнего выберем радиус, отвечающий эквимолекулярной разделяющей поверхности, где автоадсорбция, как известно, равна нулю ($\Gamma = \bar{N}/\omega_e = 0$, $\bar{N} = 0$ – избыток числа частиц, ω_e – молярная площадь).

Введем поверхностную энергию как избыточную энергию $\bar{u}_e$ на единицу площади эквимолекулярной разделяющей поверхности:

$$\bar{u} = \frac{\bar{u}_e}{\omega_e} = \frac{u - u_v^{(\alpha)} V_{\bar{N}=0}^{(\alpha)} - u_v^{(\beta)} V_{\bar{N}=0}^{(\beta)}}{\omega_e}, \quad (6.1)$$

где u – энергия (внутренняя) системы, $u_v^{(\alpha)}$ и $u_v^{(\beta)}$ – плотности энергии в объемных фазах α и β с объемами $V_{\bar{N}=0}^{(\alpha)}$ и $V_{\bar{N}=0}^{(\beta)}$, расположенными по обе стороны от эквимолекулярной разделяющей поверхности. Введем в рассмотрение еще одну разделяющую поверхность, положение которой определяется условием

$$\bar{u} = u - u_v^{(\alpha)} V_{\bar{u}=0}^{(\alpha)} - u_v^{(\beta)} V_{\bar{u}=0}^{(\beta)} = 0, \quad (6.2)$$

где $V_{\bar{u}=0}^{(\alpha)}$, $V_{\bar{u}=0}^{(\beta)}$ – объемы, на которые эта разделяющая поверхность делит объем всей системы ($V = V_{\bar{u}=0}^{(\alpha)} + V_{\bar{u}=0}^{(\beta)}$).

После несложных преобразований (6.1) с учетом (6.2) будем иметь:

$$\bar{u} = (u_v^{(\beta)} - u_v^{(\alpha)}) \frac{\Delta V_{eu}}{\omega_e}, \quad (6.3)$$

где $\Delta V_{eu} = V_{\bar{N}=0}^{(\alpha)} - V_{\bar{u}=0}^{(\beta)}$. При этом последнее выражается в виде:

$$\Delta V_{eu} = \int_{(V)} \left[\frac{\rho(z) - \rho^{(\beta)}}{\rho^{(\alpha)} - \rho^{(\beta)}} - \frac{u_v(r) - u_v^{(\beta)}}{u_v^{(\alpha)} - u_v^{(\beta)}} \right] d\vec{r}, \quad (6.4)$$

где $\rho(z)$, $u_v(r)$ – молярные плотности вещества и энергии в переходном слое. Для рассматриваемой наночастицы сферической формы в дисперсионной среде (пар)

$$\bar{u} = (u_v^{(\beta)} - u_v^{(\alpha)}) \Delta r_{eu} \left[1 - \frac{\Delta r_{eu}}{r_e} + \frac{1}{3} \left(\frac{\Delta r_{eu}}{r_e} \right)^2 \right], \quad (6.5)$$

где $\Delta r_{eu} = r_e - r_u$ – расстояние от эквимолекулярной разделяющей поверхности до разделяющих поверхностей, отвечающей условию $\bar{u} = 0$. При переходе к плоской поверхности ($r_e \rightarrow \infty$) и некоторых преобразований из последнего имеем:

$$\bar{u}_\infty = \frac{\Delta H - RT}{\nu} \Delta z_{\bar{u}}, \quad (6.6)$$

где $\Delta z_{\bar{u}} = \lim_{r_{eu} \rightarrow \infty} \Delta r_{eu}$, ΔH – теплота $\alpha \rightarrow \beta$ фазового перехода.

Если Δr_{eu} считать не зависящим от радиуса r_e (аналогичное использовалось Толменом при получении известной формулы для $\sigma(r)$ [70]), то из (6.5) следует:

$$\bar{u}(r) = \bar{u}_\infty \left[1 - \frac{\Delta z_{\bar{u}}}{r_e} + \frac{1}{3} \left(\frac{\Delta z_{\bar{u}}}{r_e} \right)^2 \right], \quad (6.7)$$

где $\Delta z_{\bar{u}} = \Delta z_{eu}$.

Используя (6.6), по известным значениям $\bar{u}_\infty$ можно рассчитать соответственно $\Delta z_{\bar{u}}$, а затем, используя ее, можно вычислить зависимости $\bar{u}(r)$ в формуле (6.7). Подобные расчеты $\Delta z_{\bar{u}}$ с использованием экспериментальных данных $\bar{u}_\infty$ (последние рассчитывались по формуле Гиббса – Гельмгольца и опытным значениям σ и $d\sigma/dT$) проведены в [54] для 20 металлов. В настоящей работе такие вычисления проведены для 50 жидких металлов, и полученные значения $\Delta z_{\bar{u}}^{(9)}$ приведены в табл. 5.

6.2. Влияние искривления поверхности на поверхностную энергию. Формула для размерной зависимости поверхностной энергии наночастиц

Теперь найдем выражения, позволяющие рассчитать $\Delta z_{\bar{u}}$. Для этого воспользуемся изотропной моделью жидкого металла [72] и формулой Гиббса – Гельмгольца $\bar{u}_\infty = \sigma_\infty \left(1 - \frac{T}{\sigma_\infty} \frac{d\sigma_\infty}{dT} \right)$. Следуя [55], можно приближенно оценить значения выражения, стоящего в скобках в этом соотношении:

$$1 - \frac{T}{\sigma_{\infty}} \frac{d\sigma_{\infty}}{dT} \cong \frac{L_0}{L_0 - 3RT \ln 2} - \frac{2}{3} \frac{T}{D} \frac{dD}{dT}, \quad (6.8)$$

где L_0 – теплота испарения переохлажденной жидкости при температуре абсолютного нуля (на моль), D – плотность (массовая) жидкого металла, dD/dT – температурный коэффициент плотности, R – универсальная газовая постоянная. Теперь, используя (6.6), получим:

$$\Delta z_{\bar{u}} = B_{LV}^{(\bar{u})} \nu^{1/3}, \quad (6.9)$$

где

$$B_{LV}^{(\bar{u})} = B_{LV}^{(\sigma)} \frac{\mu}{RT - \Delta H} \left(\frac{L_0}{L_0 - 3RT \ln 2} - \frac{2}{3} \frac{T}{D} \frac{dD}{dT} \right). \quad (6.10)$$

Параметр $B_{LV}^{(\sigma)}$, фигурирующий в последнем, согласно [73], равен $0,128 \cdot 10^{-8}$, $0,140 \cdot 10^{-8}$ и $0,204 \cdot 10^{-8}$ соответственно для ОЦК-, ГЦК- и ГПУ-структур предплавления, ν – молярный объем жидкости. Для жидкой ртути, имеющей ромбоэдрическую структуру предплавления, $B_{LV}^{(\sigma)} = 0,284 \cdot 10^{-8}$.

Величины ΔH , D , dD/dT , L_0 и B_{σ} , входящие в (6.10), известны, а химический потенциал, пользуясь условиями равновесия жидкость–пар, может быть рассчитан по формуле $\mu = RT \ln \lambda = RT \ln \left(\frac{P}{kT} \cdot V_Q \right)$, где λ – активность, P – давление пара, $V_Q = \left(\frac{2\pi \hbar^2}{a_0 A kT} \right)^{3/2}$ – квантовый объем, A – атомная масса, $\hbar = h/2\pi$, k – постоянная Больцмана, $a_0 = 1,6604 \cdot 10^{-24}$ г.

6.3. Результаты численных расчетов размерной зависимости поверхностной энергии нанокapель жидких металлов и их обсуждение

По приведенным выше соотношениям нами произведены расчеты параметра $\Delta z_{\bar{u}}$, значения поверхностной энергии $\bar{u}_{\infty}$, а также размерной зависимости $\bar{u}(r_e)$ при температуре плавления для 50 жидких металлов. Объемные характеристики жидких металлов, использованные при проведении расчетов, приведены в работе [73]. Другие входные данные, не приведенные в [73], среди которых ΔH , dD/dT и $d\sigma/dT$ для жидких металлов, указаны в табл. 5. Значения L_0 рассчитывались, следуя [57], по данным ΔH .

Результаты вычислений, приведенные в табл. 5, показывают, что размерный параметр $\Delta z_{\bar{u}}$ для всех металлов положителен по знаку и сравнительно мал по абсолютному значению (меньше среднего межчастичного расстояния в жидкости). Первое свидетельствует о том, что эквимолекулярная поверхность находится дальше от другой указанной выше разделяющей поверхности, отвечающей нулевой когезионной энергии ($\bar{u} = 0$). Малость значений Δz_{σ} свидетельствует о близости соответственно профилей плотности и плотности потенциальной энергии в поверхностном слое. При этом для одной и той же физической границы жидкость–пар при температуре плавления разделяющая поверхность, отвечающая нулевой когезионной энергии, располагается ближе к конденсированной фазе по сравнению с разделяющей поверхностью, определяемой условием равенства нулю избытка числа частиц в переходном слое.

Таблица 5

Значения параметров $\Delta z_{\bar{u}}$, Δz_{σ} , поверхностной энергии $\bar{u}_{\infty}$ и поверхностного натяжения

σ_{∞} для плоской границы жидкий металл–пар при температуре плавления

(указаны также входные данные ΔH , ν , dD/dT , $d\sigma/dT$)

Ме стрк. пред. [59]	ΔH , $\frac{Дж}{моль}$ [52]	ν $10^{-6}, м^3$ [61]	$-\frac{d\rho}{dT}$ $\frac{кг}{м^3 \cdot K}$ [61]	$-\frac{d\sigma}{dT}$ $\frac{мДж}{м^2 \cdot K}$ [61]	$\Delta z_{\bar{u}}^{(s)}$, $10^{-10} м$	$\Delta z_{\bar{u}}^{(m)}$, $10^{-10} м$	$\frac{\Delta z_{\bar{u}}^{(s)}}{\Delta z_{\sigma}^{(s)}}$	$\bar{u}_{\infty}^{(s)}$, $\frac{мДж}{м^2}$	$\bar{u}_{\infty}^{(m)}$, $\frac{мДж}{м^2}$	$\frac{\bar{u}_{\infty}}{\sigma_{\infty}}$	$\frac{\bar{u}^{(s)} - \bar{u}^{(m)}}{\bar{u}^{(s)}}$ %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Li ОЦК	134686	13,221	0,052	0,150 [57]	0,475	0,421	1,386	463,1	410,98	1,104	11,25
Na ОЦК	9037,66	24,277	0,236	0,090 [57]	0,642	0,578	1,563	227,39	204,79	1,107	9,94
K ОЦК	79000	47,683	0,229	0,070	0,786	0,717	1,545	125,59	114,58	1,134	8,77
Rb ОЦК	76000	58,135	0,486	0,053	0,904	0,836	1,679	103,54	95,8	1,127	7,47
Cs ОЦК	65899,58	72,228	0,638	0,045	0,942	0,926	1,734	82,64	81,26	1,145	1,66
Be ОЦК	294560	6,346	0,116	0,156	0,361	0,360	1,513	1603	1598	1,175	0,34
Mg ГПУ	127405,86	15,286	0,265	0,150	0,928	0,967	1,751	727	757,14	1,231	-4,20
Ca ОЦК	183920	27,640	0,221	0,062	0,629	0,642	1,662	398	405,20	1,224	-1,92
Sr ГЦК	144000	35,331	0,262	0,060	0,908	0,941	2,045	348	360,32	1,205	-3,68
Ba ОЦК	150920,51	41,352	0,526	0,07 [57]	1,002	0,996	2,254	346	343,86	1,219	0,56
Cu ГЦК	304364	7,905	0,801	0,21 [57]	0,441	0,439	1,508	1635	1628	1,163	0,43
Ag ГЦК	255062	11,519	0,907	0,125	0,506	0,519	1,643	1074	1103	1,161	-2,68
Zn ГПУ	114657	9,923	1,100	0,260	0,883	0,821	1,717	969,18	900,69	1,185	7,07
Cd ГПУ	99874,48	14,023	1,160	0,080	0,897	0,901	1,681	607,54	610	1,162	-0,40
Al ГЦК	290794,98	11,384	0,280	0,146	0,429	0,437	1,382	1066	1086	1,131	-1,81
Ga ОЦК	249372,39	11,482	0,662	0,088	0,356	0,369	1,168	764,66	793,60	1,041	-3,79
In ОЦК	219665	16,126	0,430	0,081	0,433	0,401	1,238	579,81	537,60	0,922	7,29
Tl ОЦК ГЦК	173430,96	18,071	1,430	0,080	0,561 0,561	0,489 0,536	1,455 1,455	497,1 497,1	433,58 474,9	1,106 1,107	12,77 4,47
Fe ОЦК ГЦК	341464,43	7,757	0,883	0,230	0,540 0,540	0,457 0,530	1,799 1,799	2273 2273	1923 2104	1,240 1,240	15,39 7,40
Ni ГЦК	353514,64	7,424	1,160	0,330 [57]	0,518	0,485	1,769	2340	2191	1,269	6,39
Ir ГЦК	558410,04	9,913	0,935	0,230 [57]	0,532	0,487	1,668	2876	2632	1,101	8,46

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Pt ГЦК	468619,25	10,423	2,900	0,310	0,576	0,561	1,871	2494	2433	1,282	2,46
Ti ОЦК	470711,30	11,678	0,702	0,200	0,457	0,444	1,530	1778	1727	1,293	2,88
Zr ОЦК	581590	15,728	0,310	0,17 [57]	0,516	0,488	1,517	1732	1638	1,142	5,41
Hf ОЦК	661087,87	16,080	2,318	0,210 [57]	0,567	0,611	1,946	2113	2277	1,291	-7,75
V ОЦК	458577,41	7,383	0,531	0,230	0,403	0,393	1,571	2404	2343	1,193	2,55
Nb ОЦК	609623,4	11,865	0,800	0,170	0,482	0,420	1,411	2305,8	2007,3	1,026	12,95
Ta ОЦК	770292,89	12,063	1,147	0,250	0,523	0,485	1,650	3222	2987	1,243	7,28
Cr ОЦК	392050,21	8,112	0,300	0,200	0,521	0,480	1,847	1973	1816,8	1,207	7,90
Mo ОЦК	630233,47	10,272	0,743	0,180	0,449	0,450	1,617	2651	2653	1,228	-0,10
W ОЦК	823849,37	11,349	1,250	0,210	0,459	0,475	1,680	3297	3415	1,226	-3,58
Mn ГЦК	243514,64	9,066	0,700	0,200	0,646	0,578	1,928	1393	1246	1,228	10,59
Re ОЦК	732217,57	9,852	0,800	0,180	0,477	0,461	1,671	3403	3294	1,133	3,20
Sn ОЦК	230125,52	17,179	0,194	0,160	0,509	0,494	1,496	670	649	1,049	3,04
Pb ГЦК	177824,27	19,097	1,317	0,085	0,559	0,552	1,477	506	500	1,104	1,20
Hg ромб	59297,07	14,749	2,400	0,281	1,447	1,456	1,394	563	566	1,095	-0,58
Ru ГЦК	527447,7	9,272	2,146	0,310	0,555	0,611	2,078	3032	3337	1,413	-10,04
Tb ОЦК	356900	21,950	0,152	0,060	0,510	0,563	1,572	797,8	880,7	1,104	-10,38
Os ОЦК	748954	9,463	3,655	0,330	0,471	0,483	1,949	3589	3685	1,354	-2,67
Ce ОЦК	350000	20,96	0,227	0,070	0,541	0,520	1,469	880	846	1,078	3,84
Pr ОЦК	296652,7	21,314	0,240	0,080	0,597	0,547	1,544	802,4	735,25	1,101	8,37
Nd ОЦК	317782	21,567	0,528	0,065	0,541	0,545	1,531	771	776	1,137	-0,71
Gd ОЦК	305000	22,024	0,793	0,060	0,698	0,738	2,062	925	978	1,208	-5,74
U ОЦК	420000	13,298	1,031	0,140	0,537	0,500	1,634	1650	1534	1,111	7,04
La ОЦК	382845	23,326	0,237	0,110	0,548	0,515	1,407	876	823,5	1,088	6,03

Результаты расчетов показывают, что $\Delta z_{\bar{u}}$ изменяется симбатно с молярным объемом и растет с ростом температуры. Последние результаты, как указано в [54], можно увязать с увеличением диффузности и толщины поверхностного слоя при нагревании жидкого металла. Из табл. 5 следует, что вычисленные значения поверхностной энергии $\bar{u}_{\infty}^{(T)}$ жидких металлов на плоской границе с насыщенным паром при температуре плавления для всех 50 элементов вполне удовлетворительно согласуются с наиболее надежными экспериментальными данными. При этом значения $\bar{u}_{\infty}^{(e)}$ рассчитывались по опытным значениям $\sigma_{\infty}^{(e)}$ и $d\sigma^{(e)}/dT$. Значения параметра $\Delta z_{\bar{u}}$, найденные расчетным путем $\Delta z_{\bar{u}}^{(T)}$ и по опытным данным $\Delta z_{\bar{u}}^{(e)}$, также согласуются вполне удовлетворительно.

Расчеты размерных зависимостей $\bar{u}(r)$ проводились в интервале соответственно от $r_{e\min} = \Delta z_{\bar{u}}$ до $r_e = \infty$. При этом нетрудно видеть, что при указанных минимальных радиусах $r_{e\min}$ имеют место соответственно соотношения $\bar{u}(r_{e\min}) = \bar{u}_{\infty}/3$. Проводить расчеты при еще меньших размерах не имеет смысла ввиду того, что, как следует из табл. 5, значения $\Delta z_{\bar{u}}$ малы и тем более нет оснований пренебрегать зависимостью $\Delta z_{\bar{u}}$ от радиуса (такое приближение принималось выше) на сильно искривленных границах.

Вычисления показали, что в указанных выше интервалах размеров $\bar{u}(r_e)$, как и $\sigma(r_e)$, монотонно уменьшается с уменьшением радиуса частицы ($d\bar{u}/dr_e > 0$, $d\sigma/dr_e > 0$). Об этом свидетельствуют рассчитанные данные, приведенные в табл. 6 для ряда жидких металлов.

7. Изменение поверхностной энергии и поверхностного натяжения на плоских и искривленных поверхностях металлов при фазовом переходе твердое тело–жидкость. Результаты численных расчетов

Исследованию влияния фазовых переходов на поверхностную энергию и поверхностное натяжение, являющихся важнейшими термодинамическими характеристиками поверхности, посвящено достаточно много работ (см., например, [74–76]). К наиболее ранним исследованиям, посвященным установлению взаимосвязи поверхностного натяжения в твердом и жидком состоянии, относится работа Стребейко [77], посвященная трехфазному равновесию в системе «кристалл–жидкость–пар». Он пришел к приближенному соотношению между поверхностным натяжением в твердом σ_T и жидком σ_J состояниях:

Таблица 6

Размерная зависимость поверхностной энергии $\bar{u}(r_e)$ и поверхностного натяжения $\sigma(r_e)$ жидких металлов при температуре плавления

$r_e, \text{нм}$	$\bar{u}(r_e), \text{мДж/м}^2$					$\sigma(r_e), \text{мДж/м}^2$				
	K	Rb	Au	Pt	Mo	K	Rb	Au	Pt	Mo
0,1	52,74	38,14	815,60	1333,27	1638,85	61,57	50,06	852,23	1366,75	1599,68
0,5	106,88	85,95	1282,10	2217,72	2420,07	92,71	78,40	1100,75	1752,78	2015,41
1	115,98	94,46	1351,79	2353,10	2533,75	97,28	82,62	1135,02	1805,85	2072,17
2	120,72	98,93	1387,58	2422,86	2591,93	99,62	84,79	1152,42	1832,79	2100,95
3	122,34	100,45	1399,65	2446,42	2611,52	100,41	85,52	1158,26	1841,83	2110,61
4	123,14	101,22	1405,71	2458,26	2621,35	100,81	85,89	1161,19	1846,36	2115,44
5	123,63	101,68	1409,35	2465,38	2627,27	101,04	86,11	1162,95	1849,08	2118,35
10	124,61	102,61	1416,66	2479,66	2639,11	101,52	86,56	1166,47	1854,54	2124,17
20	125,10	103,07	1420,33	2486,82	2645,05	101,76	86,78	1168,23	1857,27	2127,08
30	125,26	103,23	1421,55	2489,21	2647,03	101,84	86,85	1168,82	1858,18	2128,06
40	125,34	103,31	1422,16	2490,41	2648,03	101,88	86,89	1169,12	1858,63	2128,54
50	125,39	103,35	1422,53	2491,13	2648,62	101,90	86,91	1169,29	1858,91	2128,83
100	125,49	103,45	1423,27	2492,56	2649,81	101,95	86,96	1169,65	1859,45	2129,42
200	125,54	103,49	1423,63	2493,28	2650,40	101,98	86,98	1169,82	1859,73	2129,71
∞	125,59	103,54	1424,00	2494,00	2651,00	102,00	87,00	1170,00	1860,00	2130,00

$$\sigma_T \cong \frac{D_T}{D_{жс}} \frac{\Delta H_c}{\Delta H_u} \sigma_{жс}, \quad (7.1)$$

где D_T , $D_{ж}$ – соответственно плотности твердого тела и жидкости, ΔH_c и ΔH_u – теплоты сублимации и испарения. Уточнением этого соотношения является результат, полученный также в рамках термодинамики микрогетерогенных дисперсных систем, в работах [78, 79]:

$$\sigma_T \cong \left(\frac{D_T}{D_{жс}} \right)^{2/3} \frac{\Delta H_c}{\Delta H_u} \sigma_{жс}. \quad (7.2)$$

В работах [76, 80] также в рамках термодинамики дисперсных систем получена формула, совпадающая с (7.1), но в отличие от нее, являющаяся, по данным авторов, точным соотношением

$$\sigma_T = \frac{D_T}{D_{жс}} \frac{\Delta H_c}{\Delta H_u} \sigma_{жс}. \quad (7.3)$$

К поверхностному натяжению, видимо, относится также заключение Тейлора [81] о том, что при затвердевании металлов оно увеличивается на $1/3 \sigma_{жс}$.

Найдем аналитические выражения для отношения поверхностной энергии в твердом $\bar{u}_T$ и жидком $\bar{u}_{жс}$ состояниях при температуре плавления $(\bar{u}_T/\bar{u}_{жс})_{T=T_{пл}}$ и аналогичного отношения для поверхностного натяжения $(\sigma_T/\sigma_{жс})_{T=T_{пл}}$ металлов. При этом используем подход, основанный на введении характерного расстояния между двумя разделяющими поверхностями и двух профилей локальных свойств внутри переходного слоя [54, 82]. Такой подход успешно применялся в этих работах для установления связи поверхностной и когезионной энергии (мерой последней является теплота испарения). Для границы конденсированная фаза (α) – насыщенный пар (β) имеем для поверхностной энергии [54]

$$\bar{u} = -\frac{u^{(\alpha)} \rho^{(\alpha)}}{\omega} \iiint \left[1 - \frac{u(x, y, z)}{u^{(\alpha)}} \right] \frac{\rho(x, y, z)}{\rho^{(\alpha)}} dx dy dz, \quad (7.4)$$

где $\bar{u}$ – когезионная энергия на моль (ρ – число молей в единице объема вещества (или молярная концентрация), ω – площадь эквимолекулярной разделяющей поверхности). Интеграл в правой части соответствует разности объемов ΔV между двумя разделяющими поверхностями, отвечающими соответственно условиям $\bar{N} = N - N^{(\alpha)} - N^{(\beta)} = 0$ и $\bar{u} = u - u^{(\alpha)} - u^{(\beta)} = 0$, где N и u – соответственно полное число частиц и полная внутренняя энергия, $N^{(\xi)}$ и $u^{(\xi)}$ – аналогичные величины для фаз, расположенных по обе стороны от соответствующих поверхностей. В случае сферической поверхности объем ΔV выражается через площадь ω , расстояние между указанными разделяющими поверхностями Δr и радиус разделяющей поверхности r_3 :

$$\Delta V = \omega \Delta r \left[1 - \frac{\Delta r}{r_3} + \frac{1}{3} \left(\frac{\Delta r}{r_3} \right)^2 \right], \quad (7.5)$$

где $\Delta r = r_3 - r_n$, r_3 и r_n – радиусы разделяющих поверхностей, отвечающих условиям $\bar{N} = 0$ и $\bar{u} = 0$. Формула для поверхностной энергии на плоской границе выражается в виде (6.7). Используя ее, получим:

$$\frac{\bar{u}_T}{\bar{u}_{жс}} = \frac{\Delta H_c - RT}{\Delta H_u - RT} \frac{v_{жс}}{v_T} \frac{\Delta z_{u(T)}}{\Delta z_{u(жс)}}, \quad (7.6)$$

где v_T и $v_{жс}$ – соответственно молярные объемы в твердой и жидкой фазах.

Для металлов значение $RT_{пл}$ мало по сравнению со значениями теплот фазовых переходов ΔH_c и ΔH_u . Если приближенно принять $\Delta z_{u(T)} \simeq \Delta z_{u(жс)}$, из (7.6) следует:

$$\frac{\bar{u}_T}{\bar{u}_{жс}} \simeq \frac{D_T}{D_{жс}} \frac{\Delta H_c}{\Delta H_u}. \quad (7.7)$$

Нетрудно видеть, что правая часть (7.7) совпадает с правой частью формулы Стребейко (7.1), в левой части которой фигурирует отношение поверхностных натяжений в фазах.

Если полагать $\Delta z_T / \Delta z_{жс} \sim d_T / d_{жс} \simeq (\nu_T / \nu_{жс})^{1/3} = (D_{жс} / D_T)^{1/3}$, где d – среднее межчастичное расстояние, из (7.7) имеем:

$$\frac{\bar{u}_T}{\bar{u}_{жс}} \simeq \left(\frac{D_T}{D_{жс}} \right)^{2/3} \frac{\Delta H_c}{\Delta H_u}. \quad (7.8)$$

В этом случае получаем соотношение, правая часть которого совпадает с правой частью выражения (7.2), в котором также фигурирует отношение поверхностных натяжений в твердой и жидкой фазах.

В локально-координационном приближении обычно допускают $(u^{(\alpha)} - u) / u^{(\alpha)} \simeq \Delta n / n$, где $\Delta n / n$ – относительное число недостающих соседей на поверхности. В таком приближении получаем $\Delta z = B_u \nu^{1/3}$, где постоянная B_u зависит от структуры предплавления твердого тела (или жидкого состояния) [83]. Если допускать, что при температуре $T = T_{пл}$ в жидком металле сохраняется структура предплавления твердого металла, получим для искомого отношения в случае плоской поверхности

$$\frac{\bar{u}_T}{\bar{u}_{жс}} \simeq \left(\frac{D_T}{D_{жс}} \right)^{2/3} \frac{\Delta H_c - RT}{\Delta H_u - RT}. \quad (7.9)$$

Перейдем теперь к нахождению аналогичного соотношения для поверхностных натяжений металлов в твердом и жидком состояниях при температуре плавления.

Для плоской границы имеем

$$\sigma = (f_V^{(\beta)} - f_V^{(\alpha)}) \Delta z, \quad (7.10)$$

где

$$\Delta z_\sigma = \int_{-\infty}^{+\infty} \left(1 - \frac{\tilde{\mu}}{\mu^{(\alpha)}} \right) \frac{\rho^{(z)}}{\rho^{(\alpha)} - \rho^{(\beta)}} dz, \quad (7.11)$$

$\tilde{\mu}$ – химический потенциал в поверхностном слое, приведенный к давлению в объемной фазе, $\mu^{(\alpha)}$ – химический потенциал в конденсированной фазе.

$$\text{Для плоской границы жидкости с паром } \sigma \simeq -\mu^{(\alpha)} \rho^{(\alpha)} \int_{-\infty}^{+\infty} \left(1 - \frac{\tilde{\mu}}{\mu^{(\alpha)}} \right) \frac{\rho^{(z)}}{\rho^{(\alpha)}} dz.$$

Выражение в скобке в подынтегральном выражении $(\mu^{(\alpha)} - \tilde{\mu}) / \mu^{(\alpha)}$ в (7.11) уже нельзя приравнять относительному числу недостающих соседей $(\Delta n / n)$ (раньше уже принималось $(u^{(\alpha)} - u) / u^{(\alpha)} \simeq \Delta n / n$); имеем:

$$\frac{\mu^{(\alpha)} - \tilde{\mu}}{\mu^{(\alpha)}} \simeq \alpha \frac{\Delta n}{n}, \quad (7.12)$$

$$\alpha = \frac{u - T(S - S^{(\sigma)}) \left(\frac{\Delta n}{n} \right)^{-1}}{u - TS}, \quad (7.13)$$

где S и $S^{(\alpha)}$ – энтропии в объеме и в поверхностном слое. Можно произвести расчеты α для металлов с использованием, в частности, соотношения $\omega \frac{d\sigma}{dT} \simeq (S - S^{(\sigma)})$ и данных по температурному коэффициенту поверхностного натяжения. Расчеты α могут быть произведены также с использованием уравнения Гиббса – Гельмгольца $\bar{u} = \sigma - T \frac{d\sigma}{dT}$ и данных по $\frac{d\sigma}{dT}$. В наших расчетах σ для 50 металлов установлено, что вполне удовлетворительное совпадение с опытными данными $\left(\frac{\Delta\sigma}{\sigma} \leq 5\% \right)$ достигается при использовании соотношения $\bar{\alpha} \simeq 1 - \frac{\Delta\bar{n}}{n}$.

Выражение для поверхностного натяжения тогда будет иметь вид:

$$\sigma = B_\sigma |\mu| \nu^{-2/3}, \quad (7.14)$$

где постоянная B_σ также зависит от структуры предплавления жидкого состояния [84, 85].

Предположим, что при плавлении вещества вблизи тройной точки сохраняется структура предплавления твердого тела. В таком случае для искомого отношения поверхностных натяжений твердого тела σ_T и жидкости $\sigma_{ж}$ при температуре тройной точки для плоской поверхности получим:

$$\frac{\sigma_T}{\sigma_{ж}} \simeq \left(\frac{\nu_{ж}}{\nu_T} \right)^{2/3} = \left(\frac{D_T}{D_{ж}} \right)^{2/3} \simeq 1 + \frac{2}{3} \frac{\Delta D}{D} \left(1 + \frac{\Delta D}{D} \right), \quad (7.15)$$

где $\frac{\Delta D}{D} = \frac{D_T - D_{ж}}{D_T}$ – скачок плотности вещества при фазовом переходе. Из (7.9) и (7.15) следует, что при фазовом переходе при температуре тройной точки изменение поверхностного натяжения определяется изменением плотности вещества, а поверхностной энергии – еще различием теплот сублимации и испарения. При этом имеет место соотношение

$$\frac{\bar{u}_T}{\bar{u}_{ж}} \simeq \frac{\sigma_T}{\sigma_{ж}} \cdot \left(1 + \frac{\Delta H_{пл}}{\Delta H_u - RT} \right), \quad (7.16)$$

где $\Delta H_{пл}$ – теплота плавления, которое свидетельствует о том, что поверхностная энергия изменяется больше по сравнению с поверхностным натяжением при фазовом переходе «твердое тело $\leftrightarrow$ жидкость». Данные расчетов, приведенные в табл. 7, подтверждают этот вывод. Там же приведены входные данные, использованные в расчетах. Из этих данных следует, что для щелочных и щелочноземельных металлов, а также Cu, Ag и Au $\bar{u}_T/\bar{u}_{ж} > \sigma_T/\sigma_{ж}$, причем изменения поверхностного натяжения лежат в интервале от 1 до 3,7 %, а для поверхностной энергии – от 3 до 11 %.

Теперь рассмотрим металлические частицы сферической формы с радиусом r в твердом и жидком состояниях. Искомые соотношения для поверхностной энергии и поверхностного натяжения при температуре плавления будут соответственно иметь вид:

$$\left(\frac{\bar{u}_T}{\bar{u}_{ж}} \right)_r \simeq \left(\frac{\bar{u}_T}{\bar{u}_{ж}} \right)_\infty \frac{1 - \frac{\Delta z_{u(T)}}{r} + \frac{1}{3} \left(\frac{\Delta z_{u(T)}}{r} \right)^2}{1 - \frac{\Delta z_{u(ж)}}{r} + \frac{1}{3} \left(\frac{\Delta z_{u(ж)}}{r} \right)^2}, \quad (7.17)$$

$$\left(\frac{\sigma_T}{\sigma_{ж}} \right)_r \simeq \left(\frac{\sigma_T}{\sigma_{ж}} \right)_\infty \frac{1 - \frac{\Delta z_{\sigma(T)}}{r} + \frac{1}{3} \left(\frac{\Delta z_{\sigma(T)}}{r} \right)^2}{1 - \frac{\Delta z_{\sigma(ж)}}{r} + \frac{1}{3} \left(\frac{\Delta z_{\sigma(ж)}}{r} \right)^2}. \quad (7.18)$$

Таблица 7

Отношение поверхностной энергии $\bar{u}$ и поверхностного натяжения σ в твердом и жидком состояниях на плоской поверхности металлов

Me	Струк. пред. [59]	T _{пл} , К [52]	$\Delta D/D$ % [86]	$\Delta H_{исл} \cdot 10^{-7}$ эрг/мм [52]	$\Delta H_{пл} \cdot 10^{-7}$ эрг/мм [52]	$\frac{\bar{u}_T}{\bar{u}_{ж}}$, %	$\frac{\sigma_T}{\sigma_{ж}}$, %	$\left(\frac{\bar{u}_T}{\bar{u}_{ж}}\right) / \left(\frac{\sigma_T}{\sigma_{ж}}\right)$, %
Щелочные металлы								
Li	ОЦК	454	1,57	134686	3024,3	103,4	101,1	102,3
Na	ОЦК	371	2,49	98017	2601,7	104,5	101,7	102,7
K	ОЦК	337	2,48	85800 [77]	2318,0	104,5	101,7	102,8
Rb	ОЦК	312	2,53	78232 [77]	2196,7	104,7	101,7	102,9
Cs	ОЦК	303	2,47	74879 [77]	2092	104,6	101,7	102,9
Щелочноземельные металлы								
Be	ОЦК	1559	1,50	294560	14644,3	106,3	101,0	105,2
Mg	ГПУ	924	4,98	127405,9	8786,6	111,0	103,5	107,3
Ca	КОЦ	1122	3,20	183920	8661,1	107,3	102,2	105,0
Sr	ГЦК	1044	3,72	144000	9205,0	109,5	102,6	106,8
Ba	ГЦК	983	1,88	150920,5	7656,9	106,7	101,3	105,4
Металлы подгруппы I б								
Cu	ГЦК	1356	5,00	304363	13054,4	108,1	103,5	104,4
Ag	ГЦК	1235	5,28	255062	11297,1	108,5	103,7	104,6
Au	ГЦК	1338	5,00	330962	12552,3	107,6	103,5	103,9

Расчеты для металлических частиц с радиусом в области наноразмеров показывают, что размерные эффекты для этих отношений очень слабо выражены.

Выводы

Развита термодинамическая теория, позволяющая описать с единых позиций зависимости поверхностного натяжения и поверхностной энергии наночастиц от размера. Установлено существование принципиально разных зависимостей от размера поверхностного натяжения наночастиц с различным характером кривизны. Показано существенное изменение зависимости поверхностного натяжения от размера при одновременном учете изменения температуры равновесия с размером в системе наночастица–дисперсная среда. Выведенные соотношения позволили получить новые результаты по влиянию фазового перехода твердое тело–жидкость на поверхностную энергию и поверхностное натяжение наночастиц и макроскопических фаз.

Для 50 жидких металлов проведены расчеты поверхностного натяжения и поверхностной энергии наночастиц и на плоских поверхностях, а также параметра Толмена, параметра Русанова и автоадсорбции. Результаты численных расчетов вполне удовлетворительно согласуются с имеющимися экспериментальными данными.

Библиография

1. Русанов А.И. Фазовые равновесия и поверхностные явления. – Л.: Химия, 1967. – 388 с.
2. Быков Т.В., Шекин А.К. // Коллоидный журнал. – 1999. – Т. 61, № 2. – С. 164.
3. Шебзухова М.А., Шебзухов А.А. // Известия РАН. Серия физическая. – 2007. – Т. 71, № 5. – С. 656.
4. Жуховицкий Д.И. // Коллоидный журнал. – 2003. – Т. 65, № 4. – С. 480.
5. Гладких М.Т., Ларін В.І., Кришталь О.П. // Фізика і хімія твёрдого тіла. – 2001. – Т. 2, № 3. – С. 395.

6. Самсонов В.М., Базулев А.Н., Сдобняков Н.Ю. // Журнал физической химии. – 2002. – Т. 76, № 11. – С. 2073.
7. Зубков В.В., Самсонов В.М., Самсонов М.В. // Термодинамика поверхностных явлений и адсорбции: сборник трудов Всероссийского семинара. – Плес, 2007. – С. 12.
8. Русанов А.И. // Труды XIV Международной конференции по химической термодинамике. – СПб.: СПбГУ, 2002. – С. 349.
9. Нанотехнология в ближайшем десятилетии. Прогноз направления исследований / под ред. М.К. Рокко и др. – М.: Мир, 2002. – 292 с.
10. Пул Ч., Оуенс Ф. Нанотехнологии. – М.: Техносфера, 2005. – 336 с.
11. Роулинсон Дж., Уидом Б. Молекулярная теория капиллярности. – М.: Мир, 1986. – 375 с.
12. Рехвиашвили С.Ш., Кишტიкова Е.В., Кармокова Р.Ю. и др. // Письма в ЖТФ. – 2007. – Т. 33. – С. 1.
13. Hill T.J. // Journal of Chemical Physics. – 1962. – V. 36. – № 12. – P. 3183.
14. Гиббс Дж. В. Термодинамика. Статистическая механика. – М.: Наука, 1982.
15. Samsonov V.M., Sdobnyakov N.Yu., Bazulev A.N. // Surface Science. – 2003. – 532–535. – P. 526–530.
16. Самсонов В.М. // Журнал физической химии. – 2002. – Т. 76, № 11. – С. 2047.
17. Сдобняков Н.Ю. Дис. канд. физ.-мат. наук: 01.04.07. – М.: РГБ, 2003.
18. Шебзухов З.А., Шебзухова М.А., Шебзухов А.А. // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. – 2009. – № 11. – С. 102–106.
19. Русанов А.И. Термодинамика поверхностных явлений. – Л.: ЛГУ, 1960.
20. Vogelsberger W.J. // Phys. D. – 1970. – V. 3. – P. 87719.
21. Чижи́к С.П., Гладких Н.Т., Ларин В.И. и др. // Поверхность. – 1985. – № 12. – С. 111.
22. Vogelsberger W.J., Marx G. // Z. Phys. Chem. 1976. – B. 257(3). – S. 580.
23. Попель С.И. Теория металлургических процессов. – М.: ВИНТИ, 1971. – 132 с.
24. Оно С., Кондо С. Молекулярная теория поверхностного натяжения в жидкостях. – М.: ИЛ, 1963. – 284 с.
25. Русанов А.И. // Коллоидный журнал. – 1987. – Т. XLIX, № 5. – С. 932.
26. Самсонов В.М., Муравьев С.Д., Базулев А.Н. // Журнал физической химии. – 2000. – Т. 74, № 11. – С. 1971.
27. Samsonov V.M., Shcherbakov L.M., Novoselov A.R., Lebedev A.V. // Colloids and Surfaces. – 1999. – V. 160. – P. 117.
28. Витоль Э.Н. // Коллоидный журнал. – 1992. – Т. 54, № 3. – С. 21.
29. Самсонов В.М., Базулев А.Н., Сдобняков Н.Ю. // Химия и компьютерное моделирование. Бутлеровские сообщения. Приложение к спецвыпуску. – № 10. – 2002. – С. 267.
30. Самсонов В.М., Базулев А.Н., Щербаков Л.М. // Расплавы. – 2002. – № 2. – С. 62.
31. Базулев А.Н., Самсонов В.М., Сдобняков Н.Ю. // Журнал физической химии. – 2002. – Т. 76, № 11. – С. 2057.
32. Уингрейв Дж. А., Шехтер Р.С., Уэйд В.Х. Современная теория капиллярности. – Л.: Химия, 1980. – С. 244.
33. Попель С.И. Поверхностные явления в расплавах. – М.: Металлургия, 1994. – 432 с.
34. Vogelsberger W.J. // Phys. D. 1970. – V. 3. – P. 877.
35. Шебзухов З.А., Шебзухова М.А., Шебзухов А.А. // Известия РАН. Серия физическая. – 2009. – Т. 73, № 7. – С. 983–986.
36. Куни Ф.М., Русанов А.И. // ДАН СССР. – 1967. – Т. 174, № 2, 3.
37. Шебзухов А.А. // Физика межфазных явлений. – Нальчик, 1976. – С. 26.
38. Шебзухов З.А., Шебзухова М.А., Шебзухов А.А. // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. – 2009. – № 12. – С. 94–98.
39. Larin V.I. // Functional materials. – 1998. – V. 5. – P. 104.

40. Самсонов В.М., Базулев А.Н., Щербаков Л.М. // Расплавы. – 2002. – № 2. – С. 62.
41. Tolmen R.C. // J. Chem. Phys. – 1949. – V. 17. – № 2. – P. 333–340.
42. Blokhuis E.M., Bedeaux D. // Chem. Rev. – 1944. – V. 1. – P. 55–68.
43. Быков Т.В., Щекин А.К. // Неорганические материалы. – 1999. – Т. 35, № 6. – С. 759–763.
44. Bykov T.V., Zeng X.C. // J. Phys. Chem. – 2001. – V. 105. – № 47. – P. 11586–11594.
45. Самсонов В.М., Базулев А.Н., Щербаков Л.М. // Расплавы. – 2002. – № 2. – С. 62–69.
46. Kirkwood J.C., Buff P. // J. Chem. Phys. – 1949. – V. 17. – № 3. – P. 338–343.
47. Triezenberg O.G., Zwanzig R. // Phys. Rev. Lett. – 1972. – V. 28. – № 18. – P. 1183–1185.
48. Nijmeijer M.J.P., Bruin C., van Woerkom A.B., Bakker A.F. // J. Chem. Phys. – 1992. – V. 96. – № 1. – P. 565–576.
49. Van Giessen A.E., Blokhuis E.M., Bukman D.J. // J. Chem. Phys. – 1998. – V. 108. – № 3. – P. 1148–1156.
50. Быков Т.В., Щекин А.К. // Неорганические материалы. – 1999. – Т. 35, № 6. – С. 759–763.
51. Шебзухова М.А., Шебзухов З.А., Шебзухов А.А. // Известия РАН. Серия физическая. – 2010. – Т. 74, № 5. – С. 751–758.
52. Глазов В.М., Лазарев В.Б., Жаров В.В. Фазовые диаграммы простых веществ. – М.: Наука, 1980. – 271 с.
53. Киттель Ч. Статистическая термодинамика. – М.: Наука, 1977.
54. Русанов А.И., Прохоров В.А. Межфазная тензиометрия. – СПб.: Химия, Санкт-Петербургское отделение, 1994.
55. Задумкин С.Н. // ДАН СССР. – 1957. – Т. 112, № 3. – С. 453–456.
56. Семенченко В.К. Поверхностные явления в металлах и сплавах. – М.: Металлургиздат, 1957. – 491 с.
57. Jiang Q., Lu H.M. // Surface Science Reports. – 2008. – V. 63. – P. 427–464.
58. Гладких Н.Т., Крышталь А.П., Ларин В.И., Сухов В.Н., Богатыренко С.И. Поверхностные явления и фазовые превращения в конденсированных пленках. – Харьков: ХНУ им. Каразина, 2004. – 276 с.
59. Задумкин С.Н., Поверхностные явления в расплавах и возникающих из них твердых фазах. – Нальчик: Кабардино-Балкарское книжное издательство, 1965. – С. 12–29.
60. Химическая энциклопедия. – М.: Советская энциклопедия, 1990. – Т. 1. – 1221 с.
61. Ниженко В.И., Флока Л.И. Поверхностное натяжение жидких металлов и сплавов. – М.: Металлургия, 1981.
62. Попов Д.С., Вишкарев А.Ф., Хохлов С.Ф., Явойский В.И. // Известия ВУЗов. Черная металлургия. – 1969. – № 7. – С. 120–128.
63. Ватолин Н.А., Пастухов Э.А., Дифракционные исследования строения высокотемпературных расплавов. – М.: Металлургия, 1980. – 188 с.
64. Попель С.И., Спиридонов М.А., Масленников Ю.И. Строение жидких металлов. – Сталь, 1981. – № 9. – С. 17–20.
65. Клименков Е.А., Гельд П.В., Баум Б.А., Базин Ю.А. // ДАН СССР. – 1976. – Т. 230, № 1. – С. 71–73.
66. Слуховский О.И., Романова А.В. // Металлофизика. – 1991. – Т. 13, № 4. – С. 55–61.
67. Спектор Е.З. // ДАН СССР. – 1970. – Т. 190, № 6. – С. 1322–1324.
68. Попель С.И., Спиридонов М.А., Жукова Л.А. Атомное упорядочение в расплавленных и аморфных металлах (по данным электронографии). – Екатеринбург: УГТУ, 1997. – 382 с.
69. Yakubov I.T., Khrapak A.G., Pogosov V.V., Triger S.A. // Solid State Comm. – 1986. – V. 60. – P. 377.
70. Butler J.A. Chemical thermodynamics. – London, 1949.
71. Сивухин Д.В. Общий курс физики. Термодинамика и молекулярная физика. – М.: Наука, 1979. – 551 с.
72. Задумкин С.Н. // Физика металлов и металловедение. – 1961. – Т. 11, № 3. – С. 331–346.

73. Шебзухова М.А., Шебзухов З.А., Шебзухов А.А. // Известия РАН. Серия физическая. – Т. 74, № 5. – С. 751–758.
74. Щербаков Л.М. Коллоидный журнал. – 1961. – Т. 23. – С. 215–221.
75. Задумкин С.Н., Карашаев А.А. Связь между поверхностными энергиями металлов в твердой и жидкой фазах // Поверхностные явления в расплавах и возникающих из них твердых фазах. – Нальчик: Кабардино-Балкарское книжное из-во, 1965. – С. 85–88.
76. Таова Т.М., Хоконов М.Х. // Известия РАН. Серия физическая. – Т. 72, № 10. – С. 1451–1454.
77. Стребейко П.Э. Труды ВИММП. – Т. 1040, № 8. – С. 3–19.
78. Щербаков Л.М. Поверхностные явления в расплавах и процессах порошковой металлургии. – Киев: АН УССР, 1963.
79. Волкова Е.М. К термодинамической оценке поверхностного натяжения твердых тел // Вопросы физики формообразования и фазовых превращений. – Калинин: Калининский государственный ун-т, 1979. – С. 40–45.
80. Хоконов М.Х., Хоконов Х.Б. Об уравнении равновесия фаз малых размеров и некоторых его применениях // Вопросы физики формообразования и фазовых превращений. – Калинин: Калининский государственный ун-т, 1979. – С. 114–121.
81. Taylor I.W., J. Inst. Metals. – 1958. – 86. – № 10.
82. Русанов А.И. Докл. АН СССР. – 1981. – Т. 261, № 3. – С. 700–703.
83. Шебзухов З.А. Поверхностная энергия и характерное расстояние между разделяющими плоскостями на поверхности жидких металлов // Вестник Кабардино-Балкарского государственного университета. Серия физическая. – Вып. 11. – Нальчик, 2008. – С. 20–23.
84. Шебзухов З.А., Шебзухова М.А. Поверхностное натяжение и расстояние между характерными разделяющими поверхностями на плоской границе металла с паром // Сборник научных трудов молодых ученых. – Нальчик: Кабардино-Балкарский ун-т, 2008. – С. 181–187.
85. Шебзухов З.А., Шебзухова М.А., Шебзухов А.А. // Известия РАН. Серия физическая. – 2010. – Т. 74, № 5. – С. 751–758.
86. Станкус С.В. Изменение плотности элементов при плавлении. Методы и экспериментальные данные. Препринт № 247-91. – Новосибирск, 1991. – 78 с.
87. Физические величины. Справочник. – М.: Энергия, 1991. – С. 335.

ПОВЕРХНОСТНОЕ НАТЯЖЕНИЕ СПЛАВОВ СИСТЕМЫ НАТРИЙ–КАЛИЙ***Б.Б. Алчагиров, Л.Х. Афаунова, З.А. Кегадуева, Р.Х. Архестов, Т.М. Таова, Х.Б. Хоконов**

В статье дан обзор состояния экспериментальных исследований поверхностного натяжения (ПН) сплавов бинарной системы Na–K. Представлены результаты измерений ПН сплавов Na–K в полном концентрационном интервале составов, полученные автором в идентичных условиях приготовления сплавов in situ, когда конструкция прибора при одной заправке его исходными компонентами позволяет проводить измерения ПН сплавов во всем интервале составов. Показано, что на изотерме ПН системы отсутствует минимум, ранее отмечавшийся в литературе.

In this work we present a brief review of the experimental studies on surface tension (ST) of Na–K system binary alloys. Our data on ST of Na–K alloys over the whole concentration range determined by the all-soldered device, which allowed to prepare the alloys in the identical conditions without opening the last are given as well. It was shown that, no minimum in the ST-isotherm of Na–K alloys has been found, before marked by other authors.

Введение

Жидкие щелочные металлы и сплавы с их участием являются перспективными материалами для практического применения в термоядерной энергетике и других отраслях новой техники и технологии [1]. В частности, эвтектический сплав системы Na–K используется как теплоноситель в ядерных энергетических установках, тепловых трубах и т.д. [2]. Актуальность проблемы заключается в необходимости увеличения ресурса работы космических энергоустановок и их мощностей, что требует дальнейших исследований физико-химических свойств щелочных металлов и их сплавов. Между тем поверхностное натяжение (ПН) жидких растворов бинарных систем щелочных металлов экспериментально изучено недостаточно полно, а в некоторых работах имеются лишь данные для единичных сплавов. Литературные данные об изотермах концентрационной зависимости ПН $\sigma(x)$ носят противоречивый характер, в том числе и для системы Na–K [3–7].

В данной работе проанализированы результаты экспериментальных исследований ПН расплавов системы Na–K и приведены новые данные об изотерме $\sigma(x)$ этой системы, полученные в условиях высокого статического вакуума на образцах повышенной чистоты. Идентичность условий приготовления сплавов и измерений ПН во всем концентрационном интервале составов обеспечивалась одной-единственной заправкой цельнопаянного прибора, специально разработанного для решения поставленной задачи [8].

Состояние экспериментальных исследований поверхностного натяжения системы натрий–калий

К настоящему времени имеются лишь несколько экспериментальных исследований температурных и концентрационных зависимостей поверхностного натяжения $\sigma(x)$ сплавов системы Na–K [1, 9, 10]. Полученные результаты не обладают необходимой точностью и надежностью и, более того, носят противоречивый характер. В частности, изотерма ПН $\sigma(x)$ ($T = 466$ K), полученная в [9] методом капиллярного поднятия, проходит через максимум при содержании в Na 28 ат. % K, а воспроизводимость результатов измерений при этом составила ± 10 %. В работе

* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ и МОН КБР по Проекту № 09-08-96531 «p_a_yug»

[10] использован метод лежащей капли, в которой ПН определено только для одного сплава (28 ат. % К в Na) и лишь при нескольких температурах (ошибка эксперимента – около 10 %). П. Пугачевич с сотр. измерили плотность и ПН пяти сплавов системы Na–K в температурном интервале от 20 до 150 °C [5]. Построенная в [5] изотерма ПН $\sigma(x)$ системы Na–K показывает, что эвтектической точке на диаграмме состояния отвечает широкий минимум на изотерме ПН $\sigma(x)$, «глубина» которого составляет около 15 мН/м, что в несколько раз превышает заявленную авторами погрешность измерений (рис. 1).

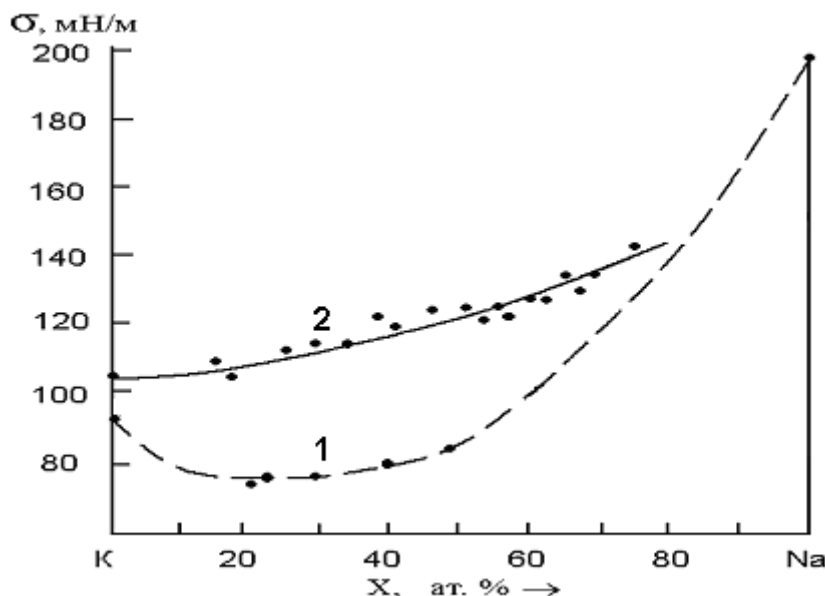


Рис. 1. Изотермы $\sigma(x)$ ПН сплавов системы Na–K ($T=373\text{K}$):
1 – штриховая линия – данные [5], 2 – сплошная линия – данные [6]

Общим недостатком ранних работ по изучению ПН щелочных металлов и их сплавов является несовершенство методов и техники эксперимента того времени, а также использование в опытах металлов с заметным содержанием примесей, в том числе и в [5].

Наиболее полно, с использованием металлов повышенной чистоты, в высоком статическом вакууме и при соблюдении условий термодинамического равновесия исследуемой поверхности со своим насыщенным паром, в работе [6] было изучено ПН 18 сплавов Na–K (с погрешностью около 2 %) в интервале составов от чистого калия до 76,1 ат. % Na в K. Оказалось, что на изотерме ПН Na–K в изученном интервале составов, в отличие от данных [5], не обнаруживаются какие-либо особенности в виде экстремумов вблизи сплавов эвтектического состава. Таким образом, экспериментальные результаты исследований изотерм ПН $\sigma(x)$ системы Na–K не позволяют пока однозначно говорить о наличии или отсутствии особых точек на изотерме $\sigma(x)$ системы Na–K.

В связи с этим в настоящей работе ставится задача изучения температурной зависимости ПН сплавов системы Na–K с содержанием от 0 до 25 ат. % K в растворе и, более того, с использованием возможности нового прибора, – измерения $\sigma(x)$ системы Na–K в полном концентрационном интервале составов.

Методика экспериментов по определению поверхностного натяжения

Как показано в предыдущем разделе, измерения ПН, выполненные до настоящего времени, проведены в различных условиях, хотя хорошо известно, что ПН в значительной степени зави-

сит от состояния поверхности исследуемых металлов и сплавов. Поэтому определение ПН в одних и тех же условиях, особенно для высокоактивных щелочных металлов и их сплавов, приобретает принципиальное значение. Отличительная особенность использованного нами прибора [8] в сравнении с существующими устройствами подобного назначения заключается в том, что он позволяет при одной заправке исходными компонентами, без его вскрытия, готовить и измерять ПН сплавов различного состава желаемое количество раз во всем концентрационном интервале. Это обеспечивает строгую идентичность условий приготовления и измерений ПН всех сплавов. Ошибка в определении концентрации сплавов к концу измерений при этом не превышает 0,4 %.

В опытах использованы металлы-компоненты высокой чистоты, в которых содержание основного элемента составляло не менее 99,995 мас. %. Измерение ПН производилось методом большой капли в диапазоне температур от ликвидусных до 450 К с погрешностью $1 \div 1,5$ %. Юстировку подложек вдоль горизонтальной плоскости перед измерениями ПН осуществляли катетометром В-630, руководствуясь при этом рекомендациями [11]. Фотографирование производилось фотокамерой с объективом Индустар-37, обеспечивающей негативное изображение контура капли с оптимальным 5-кратным увеличением [12]. Обмер изображений капель сплавов производился на микроскопе УИМ-21, а их обработка и расчеты ПН выполнялись согласно рекомендациям [13]. Измерения ПН осуществлялись в воздушном термостате, в котором поддерживалось заданное постоянное безградиентное температурное поле с точностью $\pm 0,3$ К.

Результаты экспериментов и их обсуждение

Из полученных результатов, графически представленных на рис. 2, следует, что в интервале температур 350–450 К температурные зависимости ПН растворов Na–K описываются линейными уравнениями с отрицательными температурными коэффициентами (ТКПН), а по мере увеличения содержания К в сплавах ТКПН по абсолютной величине уменьшаются. В таблице приведены числовые данные $\sigma(x, T)$ и температурные коэффициенты ПН сплавов системы Na–K.

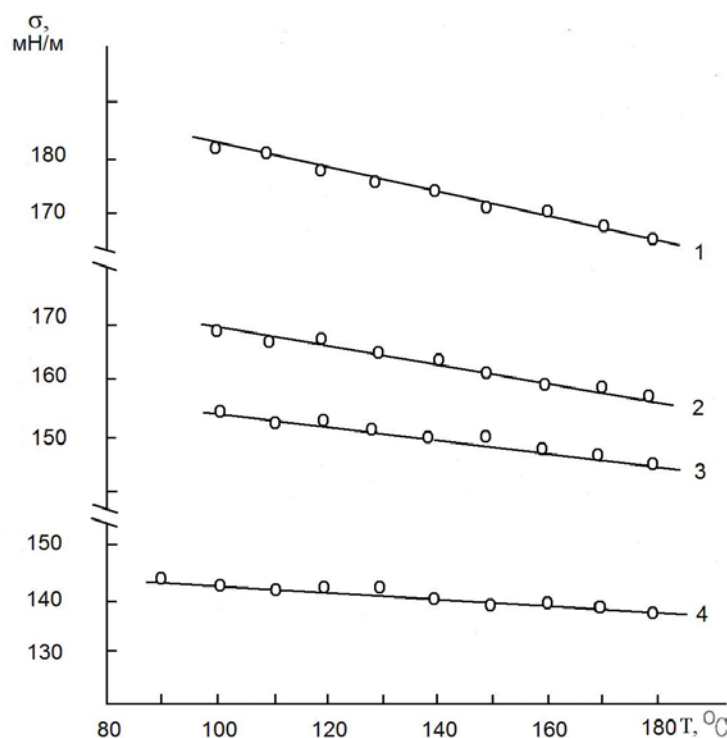


Рис. 2. Температурные зависимости ПН сплавов Na–K:
1–2,8 ат. % К, 2–6,2 ат. % К, 3–12,0 ат. % К, 4–17,1 ат. % К в Na

Таблица

Температурные и концентрационные зависимости ПН сплавов Na–K

№	X_K , ат. %	σ , мН/м	$-d\sigma/dT$, мН/м·К	№	X_{Na} , ат. %	σ , мН/м	$-d\sigma/dT$, мН/м·К
1	0	203,3	0,094	10	61,0	115,5	0,068
2	2,8	183,3	0,209	11	66,7	112,3	0,098
3	6,2	169,0	0,224	12	73,3	110,5	0,120
4	12,0	154,5	0,122	13	80,0	108,3	0,090
5	17,1	144,7	0,053	14	82,4	107,9	0,080
6	25,6	139,2	0,018	15	86,1	105,8	0,065
7	35,2	128,8	0,020	16	94,4	104,2	0,070
8	49,9	121,5	0,043	17	100,0	103,0	0,065
9	55,2	117,8	0,054				

По нашему мнению, температурная зависимость ПН жидких сплавов Na–K определяется в основном двумя одновременно протекающими процессами: понижением ПН с повышением температуры (т.е. с ростом поверхностной энтропии) и адсорбционно-десорбционными процессами на поверхности сплавов [14].

Изотерма ПН сплавов системы натрий–калий, построенная для 473 К, показана на рис. 3 (кривая 1, черные точки) в сравнении с данными работы [6] (светлые точки). Она свидетельствует об удовлетворительном согласии результатов настоящей работы с результатами [6]. В обеих работах не нашло подтверждения наличие минимума на изотермах ПН системы Na–K вблизи сплавов эвтектических составов, отмеченное ранее П. Пугачевичем с сотр. (рис. 3, кривая 3) [5, 15, 16].

Как и следовало ожидать из термодинамических критериев оценки поверхностной активности компонентов, наши данные свидетельствуют о достаточно высокой поверхностной активности калия в области его небольшого содержания в сплаве: добавка 10 ат. % К к Na понижает ПН натрия на 20 и более (рис. 3, кривая 1).

На рис. 3 (кривая 2) также показаны результаты теоретических расчетов А. Шебзухова и сотр. изотермы ПН $\sigma(x)$ системы Na–K на основе электронно-статистической теории [3, 17, 18], которые также не подтверждают наличие минимума на изотерме $\sigma(x)$ данной системы [5]. Заметим, что опытные значения ПН всех пяти сплавов, полученные П. Пугачевичем и др. в [5], меньше, чем поверхностное натяжение калия – компонента системы с меньшим значением ПН на 10–15 мН/м, и лежат ниже полученной нами изотермы ПН для тех же сплавов на 30–40 мН/м.

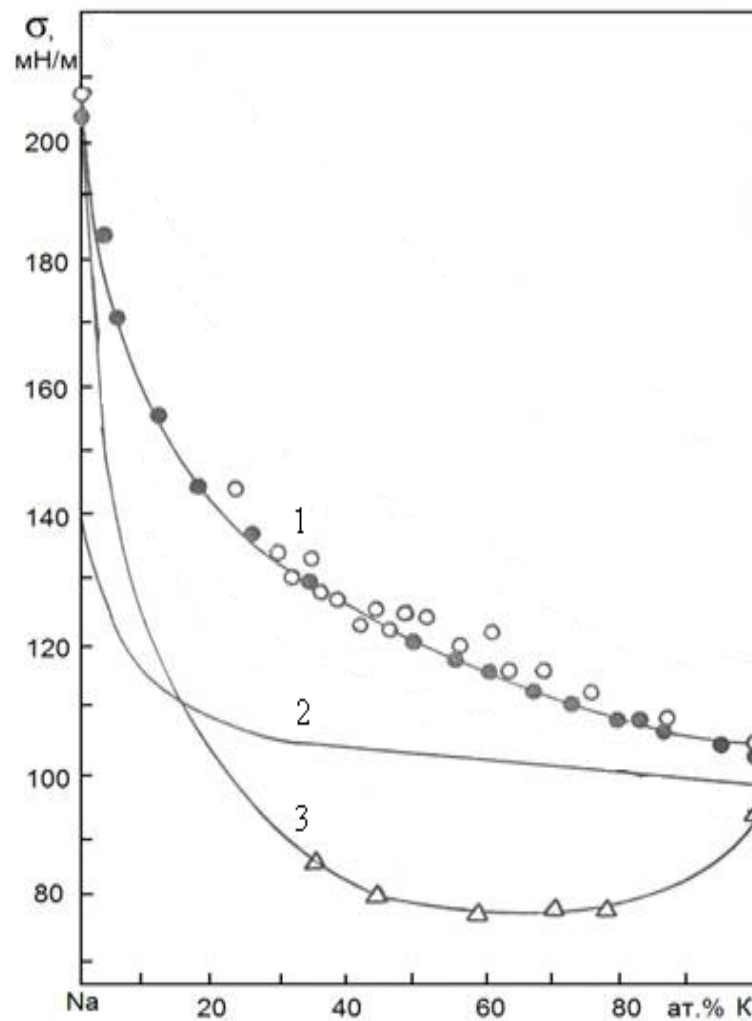


Рис. 3. Изотермы ПН сплавов системы Na–K:

- 1 – эксперимент: ● – настоящая работа; ○ – по данным [6] (Б. Алчагиров и сотр.) $T=373$ К;
 2 – теоретические расчеты (А. Шебзухов и сотр.) [3, 17], $T=373$ К;
 3 – экспериментальные данные (П. Пугачевич, Р. Лебедев и сотр.) [5, 15, 16], $T=373$ К.

Как следует из рис. 3, калий проявляет значительную поверхностную активность в сплавах с натрием. Значение предельной поверхностной активности К составило около 1000 мН/м (атом. доли). Об этом же свидетельствуют и результаты расчетов адсорбции К в сплавах системы Na–K в «N»-варианте (рис. 4), из которых следует, что максимальное значение адсорбции калия на поверхности расплава достигается в области содержания около 0,1 атом. доли К в сплавах с Na [19].

Таким образом, детальное изучение ПН системы Na–K с использованием образцов высокой чистоты и по более совершенной методике показало отсутствие минимума на изотерме ПН. Следует отметить, что измерения работы выхода электрона, тесно связанной с поверхностной энергией, также не обнаруживают особенностей на изотерме работы выхода электрона в области эвтектического сплава системы Na–K [20].

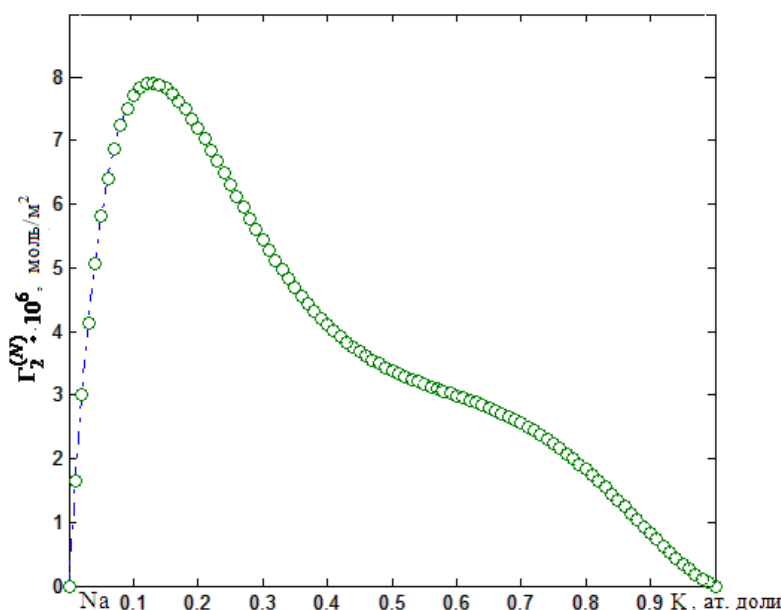


Рис. 4. Результаты расчетов адсорбции К в сплавах с Na при $T=384$ К

Выводы

1. Впервые при одной заправке прибора и в полном концентрационном интервале составов измерены температурные и концентрационные зависимости ПН системы Na–K.
2. Температурные зависимости поверхностного натяжения сплавов Na–K линейно убывают с температурой. Наибольшие по абсолютной величине температурные коэффициенты ПН имеют место для сплавов калия на основе натрия.
3. Не подтвержден ранее отмеченный в литературе минимум на изотерме ПН сплавов системы натрий–калий вблизи эвтектического состава.

Библиография

1. Алчагиров Б.Б., Хоконов Х.Б. Щелочные металлы и сплавы с их участием – перспективные материалы современной техники и энергетики // Физика и химия перспективных материалов. – Нальчик: КБГУ, 1998. – С. 40–44.
2. Ивановский М.Н., Логинов Н.И., Миловидова А.В. и др. Натрий-калиевый сплав эвтектического состава – теплоноситель космических ядерных энергетических установок // Теплофизические свойства веществ (жидкие металлы и сплавы): Труды международного семинара (11–15 июня 2001 г.). – Нальчик: КБГУ, 2001. – С. 116–120.
3. Шебзухов А.А., Осико Т.П., Кожокова Ф.М., Мозговой А.Г. Поверхностное натяжение жидких щелочных металлов и сплавов // Обзоры по теплофизическим свойствам веществ. ТФЦ. – М.: ИВТАН. – 1980. – № 5 (31). – 142 с.
4. Алчагиров Б.Б. Поверхностное натяжение щелочных металлов и сплавов с их участием // Обзоры по теплофизическим свойствам веществ. – ТФЦ. – М.: ИВТАН. – 1991. – № 3 (89), 4 (90). – 180 с.
5. Лебедев Р.В., Пугачевич П.П. Поверхностное натяжение и адсорбция в растворах щелочных металлов // ЖФХ. – 1969. – Т. 43, № 5. – С. 1286–1287.
6. Осико Т.П., Алчагиров Б.Б. Поверхностное натяжение бинарных расплавов щелочных металлов. Сплавы натрий–калий // ТВТ. – 1987. – Т. 25, № 4. – С. 809–812.

7. Keene B. J. Review of data for surface tension of pure metals // *International Materials Reviews*. – 1993. – V. 38, № 4. – P. 157–192.
8. Алчагиров А.Б., Алчагиров Б.Б., Хоконов Х.Б. Прибор для определения поверхностного натяжения и работы выхода электрона металлических растворов в полном концентрационном интервале составов. Патент № 2086957, 1997 г.
9. Ewing C.T., Atkinson H.B. Properties of Na–K alloy // *NRL*. – 1948. – Report № C–3887.
10. Bradhurst D.N., Buchanan A.S. Surface properties of liquid Na and Na–K alloys in contact with metal oxide surface // *Austral. Journ. Chem.* – 1961. – V. 14. – P. 397.
11. Алчагиров Б.Б., Чочаева А.М. К методу большой (лежащей) капли: влияние негоризонтальности подложки на точность определения поверхностного натяжения // *ПТЭ*. – 1998. – № 3. – С. 131–133.
12. Алчагиров Б.Б., Дадашев Р.Х. Метод большой капли для определения плотности и поверхностного натяжения металлов и сплавов. – Нальчик: КБГУ, 2000. – 94 с.
13. Иващенко Ю.Н., Еременко В.Н. Основы прецизионного измерения поверхностной энергии металлов по методу лежащей капли. – Киев: Наукова думка, 1972. – 232 с.
14. Алчагиров Б.Б., Афаунова Л.Х., Архестов Р.Х., Таова Т.М. К вопросу об адсорбционной кривой бинарной системы натрий–калий // Межведомственный семинар «Технология щелочных жидкометаллических теплоносителей» (Теплофизика – 2009). Тезисы докладов. – Обнинск, октябрь 28–30, 2009. – С. 37–39.
15. Лебедев Р.В. Измерение межфазного натяжения сплавов натрия с калием // *Изв. ВУЗов. Физика*. – 1972. – № 12. – С. 155–158.
16. Лебедев Р.В., Пугачевич П.П., Задумкин С.Н. Поверхностное натяжение в расплавах щелочных металлов и их растворах // *Физическая химия поверхностных явлений в расплавах*. – Киев: Наукова думка. – 1971. – С. 157–159.
17. Шебзухов А.А., Осико Т.П. К электронно-статистической теории поверхностной энергии бинарных металлических сплавов // *Физика межфазных явлений*. – Нальчик: КБГУ, 1977. – Вып. 2. – С. 17–24.
18. Задумкин С.Н., Шебзухов А.А. Статистические и электронные теории поверхностной энергии сплавов простых металлов // *Физическая химия границ раздела контактирующих фаз*. – Киев: Наукова думка, 1976. – С. 3–9.
19. Алчагиров Б.Б., Афаунова Л.Х., Таова Т.М. и др. Расчет адсорбции калия в сплавах натрий–калий: учет активности компонентов // *Вестник КБГУ. Сер. Физические науки*. – Нальчик: КБГУ, 2009. – Вып. 12. – С. 9–11.
20. Алчагиров Б.Б., Лазарев В.Б., Хоконов Х.Б. Работа выхода электрона щелочных металлов и сплавов с их участием. – М.: ТФЦ РАН. Обзоры по теплофизическим свойствам веществ. – 1989. – № 5 (79), 4 (90). – 146 с.

НЕСТАНДАРТНЫЙ ПОДХОД К ДИНАМИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ РАССЕЯНИЯ ВОЛН РЕНТГЕНОВСКОГО ДИАПАЗОНА

А.А. Дышеков

Представлен принципиально новый вариант динамической теории дифракции рентгеновских лучей в идеальных кристаллах. Теория основывается на прямом анализе уравнений Максвелла с учетом модельных представлений о характере взаимодействия рентгеновского излучения с кристаллом, соответствующих теории Эвальда – Лауэ. В качестве математического метода нахождения приближенного решения дифракционного уравнения используется модификация метода многих масштабов. Полученные результаты соответствуют известным выводам динамической теории дифракции за пределами области полного внешнего отражения. Получены выражения для амплитудных коэффициентов отражения дифрагированной и зеркальной волн для произвольных углов, включая область полного внешнего отражения.

In work the new variant of the dynamic theory of diffraction of X-rays in ideal crystals is presented. The theory is based on the direct analysis of Maxwell equations taking into account modeling representations about character of interaction of x-ray radiation with a crystal corresponding to Evald-Laue theory. As a mathematical method of a finding of the approached solution of diffraction equations updating of a method of many scales is used. Received results correspond to known conclusions of the dynamic theory of diffraction outside of area of full external reflection. Expressions for reflection amplitudes of diffracted and a mirror wave for any angles including area of full external reflection are received.

Введение

В теории динамического рассеяния рентгеновских лучей в кристалле можно выделить несколько основных подходов [1–3].

Исторически первой в этом направлении является теория Дарвина. Этот подход основывается на модели кристалла по Брэггу, когда кристалл рассматривается как семейство параллельных кристаллических плоскостей. Отражение рентгеновской волны рассматривается как результат последовательного прохождения и многократного отражения от плоскостей. Определение амплитуды дифрагированной волны сводится при этом к решению рекуррентных соотношений, связывающих между собой амплитуды прошедших и рассеянных волн при прохождении через данную атомную плоскость. По существу теория Дарвина представляет собой прямую экстраполяцию оптической задачи о распространении света в слоистой среде на случай рентгеновского диапазона длин волн. Вопрос о допустимости подобной экстраполяции при этом не ставится.

Следующим шагом в развитии теоретических представлений о характере распространения рентгеновских волн в кристалле в условиях динамического рассеяния явилась теория Эвальда – Лауэ. В рамках этой теории впервые формулируются модельные представления о взаимодействии рентгеновского излучения с кристаллом, имея в виду, что длина рентгеновской волны сравнима с межатомными расстояниями. Тем самым стандартное континуальное приближение электродинамики сплошных сред оказывается неприменимым и требуется учет рассеяния на отдельных зарядах. Как известно, подобный учет приводит к формализму трехмерно-периодической диэлектрической проницаемости $\epsilon(\mathbf{r})$ или поляризуемости $\chi(\mathbf{r})$ с периодами решетки кристалла. Теория Эвальда – Луэ исходит из концепции единого волнового поля, которое возникает в кристалле в условиях динамического рассеяния. В двухволновом приближении волновое поле представляет собой суперпозицию преломленной и дифрагированной волн. Определение амплитуд поля сводится к решению некоторого дисперсионного уравнения, следующего из фундаментальных уравнений теории.

Несмотря на ряд безусловных достижений в интерпретации и теоретическом предсказании экспериментальных результатов по динамическому рентгеновскому рассеянию в кристаллах, как теория Эвальда – Лауэ, так и в особенности теория Дарвина имеют принципиальное ограничение – они описывают динамическую дифракцию только в идеальных кристаллах. Здесь, пожалуй, можно привести лишь один эффективный пример выхода за пределы идеального кристалла в рамках теории Эвальда – Лауэ – теория динамической дифракции в ультразвуковых сверхрешетках, развитая Энтиным [4].

Необходимость учета всевозможных отклонений от идеальной периодичности в кристалле, и прежде всего деформаций, привела к созданию обобщенной динамической теории, развитой Такаги и Топеном. Она основывается на представлении волнового поля в виде суперпозиции проходящей и дифрагированной волн с медленно меняющимися амплитудами, зависящими от координат, что приводит к системе Такаги – системе дифференциальных уравнений относительно амплитуд полей. Такой формализм дает возможность описания динамической дифракции в искаженном кристалле, поскольку в представлении волновых полей могут быть явно учтены нарушения идеальной периодичности. Соответственно, уравнения Такаги становятся системой дифференциальных уравнений с переменными коэффициентами.

Существенно при этом, что система Такаги «укороченная» – в ней отброшены вторые производные амплитуд полей по координатам. С одной стороны, это значительно облегчает теоретическое рассмотрение и делает обозримым решение ряда дифракционных задач в стандартных геометриях дифракции, когда подобное упрощение оказывается оправданным. С другой стороны, уравнения Такаги оказываются неприменимыми в условиях, скажем, скользящей геометрии дифракции; тогда приходится решать дифференциальные уравнения третьего или даже четвертого порядков [5–8].

Принципиальный недостаток процедуры «укорочения» уравнений связан с невозможностью корректной постановки граничных условий на границе кристалл–вакуум для амплитуд полей. Вместо известных классических условий непрерывности тангенциальных компонент электрического и магнитного полей ставятся интуитивно ясные, но не согласующиеся с уравнениями Максвелла граничные условия типа задания нормальных компонент амплитуд полей на поверхности кристалла. Разумеется, решения таких граничных задач оказываются применимыми лишь для достаточно больших (точнее, значительно превышающих угол полного внешнего отражения) углах падения и выхода излучения.

В результате при рассмотрении дифракционных схем типа скользящей дифракции теория сталкивается с трудностями, связанными с необходимостью решения уравнений третьего или четвертого порядка, которые в случае кристалла с деформацией решетки становятся практически непреодолимыми.

Вместе с тем уравнения Максвелла – это уравнения первого порядка, или при переходе, например, к электрическому полю – второго порядка в «скалярном» случае одного волнового уравнения. Именно подобная структура уравнений согласуется с упомянутыми классическими граничными условиями. Это значит, что требование корректного учета граничных условий в любой теоретической схеме дифракции практически однозначно приводит к известной структуре волнового уравнения, следующего из уравнений Максвелла.

Таким образом, для преодоления указанных трудностей необходимо строить теорию, прямо опирающуюся на уравнения Максвелла с применением модельных представлений о поляризуемости кристалла в рентгеновском диапазоне длин волн [9–11].

1. Модель взаимодействия кристалла с рентгеновским излучением

Модельные представления о кристалле и распространяющемся в нем рентгеновском излучении сводятся к следующему.

На кристалл из вакуума падает плоская монохроматическая волна. Граница кристалл–вакуум рассматривается как геометрическая, так что оказываются применимыми классические граничные условия из оптики.

Единое волновое поле в кристалле описывается с помощью фундаментальных уравнений Максвелла, дополненных материальным уравнением $\mathbf{D} = \varepsilon(\mathbf{r})\mathbf{E}$ с трехмерно-периодической, имеющей период решетки, диэлектрической проницаемостью $\varepsilon(\mathbf{r})$. Тем самым мы предполагаем, что в рентгеновском диапазоне длин волн кристаллическая среда линейна и связь между $\mathbf{D}$ и $\mathbf{E}$ локальна, то есть отсутствуют пространственная и временная дисперсии. Кроме того, поскольку $\varepsilon(\mathbf{r})$ (или $\chi(\mathbf{r})$) – скаляр, то среда изотропна. Временной фактор также не принимается во внимание, тем самым исключается возможность некогерентного (в смысле изменения частоты излучения) рассеяния.

Как видно, указанные предположения вполне соответствуют модели, положенной в основу теории Эвальда – Лауэ, если не конкретизировать функциональный вид $\varepsilon(\mathbf{r})$.

Уравнения Максвелла как уравнения электромагнитных волн в диэлектрике в отсутствие дисперсии могут быть записаны в виде (обозначения здесь и далее по возможности стандартные):

$$\text{rot}\mathbf{E} = -\frac{1}{c} \frac{\partial \mathbf{H}}{\partial t}; \quad (1)$$

$$\text{div}\mathbf{H} = 0; \quad (2)$$

$$\text{rot}\mathbf{H} = \frac{1}{c} \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t} = \frac{1}{c} \frac{\partial}{\partial t} (1 + \chi(\mathbf{r}'))\mathbf{E} = \frac{1}{c} (1 + \chi(\mathbf{r}')) \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t}; \quad (3)$$

$$\text{div}\mathbf{D} = 0. \quad (4)$$

Уравнения (1), (2) составляют первую пару, а (3), (4) – вторую пару. Эти уравнения дополняются материальными соотношениями

$$\mathbf{D} = \varepsilon(\mathbf{r}')\mathbf{E} = (1 + \chi(\mathbf{r}'))\mathbf{E}; \quad \mathbf{B} = \mu\mathbf{H} = \mathbf{H}. \quad (5)$$

Форма этих соотношений предполагает, что, как уже упоминалось, $\mathbf{D}$ и $\mathbf{E}$ связаны посредством ε (или χ) локальной зависимостью, не зависящей от частоты – нет дисперсии; и что среда немагнитна ($\mu=1$).

Предположим, что зависимость $\mathbf{E}$ и $\mathbf{H}$ от времени гармоническая:

$$\mathbf{E}(\mathbf{r}', t) = \mathbf{E}(\mathbf{r}') \exp(-i2\pi\nu t); \quad \mathbf{H}(\mathbf{r}', t) = \mathbf{H}(\mathbf{r}') \exp(-i2\pi\nu t).$$

Это не всегда справедливо, например, при рассмотрении динамики решетки; тогда, строго говоря, необходимо решать систему (1)–(4). Учтем гармоничность в системе (1)–(4):

$$\frac{1}{c} \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} = -\frac{i2\pi\nu}{c} \mathbf{E} = -i2\pi k \mathbf{E}; \quad \frac{1}{c} \frac{\partial \mathbf{H}}{\partial t} = -i2\pi k \mathbf{H}.$$

Здесь и далее для экономии включаем множитель 2π в k : $2\pi k \rightarrow k$. Имеем систему:

$$\begin{aligned} \text{rot}\mathbf{E} &= -\frac{1}{c} \frac{\partial \mathbf{H}}{\partial t} = ik\mathbf{H}; \\ \text{rot}\mathbf{H} &= \frac{1}{c} (1 + \chi(\mathbf{r}')) \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} = -ik(1 + \chi(\mathbf{r}'))\mathbf{E}. \end{aligned} \quad (6)$$

Этой системой можно распорядиться двояко. Во-первых, можно исходить из (6) как базовой системы и развивать теорию первого порядка, в которой вектора $\mathbf{E}$ и $\mathbf{H}$ определяются одновременно как компоненты векторной матрицы-столбца. Такой подход, требующий применения методов дифференциального матричного исчисления, можно условно назвать «матричным».

Во-вторых, можно анализировать лишь одну амплитуду (традиционно это $\mathbf{E}$). Такой вариант теории предполагает переход к одному векторному уравнению для $\mathbf{E}$; его можно условно называть «скалярным».

Оба подхода, разумеется, приводят к одинаковым результатам, хотя в случае деформированного кристалла «матричный» вариант теории может оказаться предпочтительней. Здесь, однако, мы будем рассматривать только случай идеального кристалла, поэтому используем более привычный «скалярный» вариант.

От системы (6) стандартным путем приходим к одному уравнению:

$$\begin{aligned} \text{rotrot}\mathbf{E} &= \text{rot}(ik\mathbf{H}) = ik\text{rot}(\mathbf{H}) = k^2(1 + \chi(\mathbf{r}'))\mathbf{E}; \\ \text{rotrot}\mathbf{E} - k^2(1 + \chi(\mathbf{r}'))\mathbf{E} &= 0 \end{aligned} \quad (7)$$

Это основное уравнение «скалярного» варианта теории.

Теперь необходимо сделать модельные предположения о $\chi(\mathbf{r}')$. Здесь можно поступить двояко. С одной стороны (более строгий, физический подход), $\chi(\mathbf{r}')$ вводится на основе микроскопических представлений о структуре твердого тела с применением квантовой механики. Однако этот путь очень быстро упирается в принципиальные сложности, которые обычно обходятся приближениями (в частности, одноэлектронным). С другой стороны, $\chi(\mathbf{r}')$ как поляризуемость может быть введена чисто феноменологически, как это делается в электродинамике сплошных сред, с одним, однако, существенным отличием: $\chi(\mathbf{r}')$ – функция координат, а не константа. Преимущества этого подхода – простота, как и во всякой феноменологии, и возможность ввести нарушения типа деформаций решетки согласованно с континуальной теорией упругости.

В данной работе мы рассмотрим случай идеального кристалла. Это даст возможность сопоставить выводы предлагаемого формализма с известными результатами динамической и кинематической теории, а также уточнить, что, собственно, представляет собой $\chi(\mathbf{r}')$ в классических вариантах теории.

Любое теоретическое построение рентгеновского волнового поля в кристалле должно учитывать важнейшее свойство $\chi(\mathbf{r}')$ – трехмерную периодичность с периодом решетки. Учет этого свойства в классических теориях, естественно, влечет за собой разложение $\chi(\mathbf{r}')$ в трехмерный ряд Фурье. Если быть последовательным, то необходимо в связи с этим ставить вопросы о соответствии ряда Фурье величине $\chi(\mathbf{r}')$, в частности, сходимости ряда, количества членов ряда, потребных для адекватного представления $\chi(\mathbf{r}')$, и т.д. Источник этих трудностей кроется в претензии на знание (хотя бы в принципе) истинного значения $\chi(\mathbf{r}')$ и необходимости ее адекватной аппроксимации. Помимо этого фактора существует еще другой, связанный с описанием дифракции в реальном (с искажениями) кристалле. Наведение строгости в данном случае неминуемо ведет в разделы математики типа теории почти периодических функций [12]. Обычно при построении теории подобные трудности замалчиваются, предполагая (как правило, неявно) проводимые математические манипуляции корректными.

Можно, однако, поступить иначе – объявить (т.е. фактически постулировать), что $\chi(\mathbf{r}')$ имеет конкретный вид. Тем самым мы сознательно упрощаем ситуацию и вводим модель $\chi(\mathbf{r}')$ с перспективой дальнейшего уточнения и модификации.

Итак, выбираем модель кристалла $\chi(\mathbf{r}')$ в виде:

$$\chi(\mathbf{r}') = \chi_0 + \chi_H \exp(i2\pi\mathbf{H}\mathbf{r}') + \chi_{\bar{H}} \exp(-i2\pi\mathbf{H}\mathbf{r}').$$

Это фактически будет соответствовать 2-волновому приближению теории дифракции.

Далее, как и для k , будем включать 2π в $\mathbf{H}$: $2\pi\mathbf{H} \rightarrow \mathbf{H}$. Тогда для основного уравнения имеем:

$$\text{rotrot}\mathbf{E}(\mathbf{r}') - k^2(1 + \chi_0 + \chi_H \exp(i\mathbf{H}\mathbf{r}') + \chi_{\bar{H}} \exp(-i\mathbf{H}\mathbf{r}'))\mathbf{E}(\mathbf{r}') = 0. \quad (8)$$

Теперь приведем (8) к безразмерному виду. Это необходимо для корректного учета вклада различных членов в (8) при использовании методов теории возмущений. Процедура приведения к безразмерному виду предполагает выбор некоторого характерного пространственного масштаба. Очевидно, таковым в нашей задаче является параметр, определяющий обратную решетку – длина вектора обратной решетки:

$$\begin{aligned}\frac{\mathbf{H}}{H} &= \mathbf{h}; |\mathbf{h}| = 1; \mathbf{H}\mathbf{r}' = \mathbf{h}H\mathbf{r}' = \mathbf{h}\mathbf{r}; \mathbf{r} = \mathbf{H}\mathbf{r}'. \\ \text{rot}_{r'} &= H\text{rot}_r; \text{rot}_{r'}\text{rot}_{r'} = H^2\text{rot}_r\text{rot}_r \\ \text{rotrot}\mathbf{E}(\mathbf{r}) - \kappa^2(1 + \chi_0 + \chi_H \exp(i\mathbf{h}\mathbf{r}) + \chi_{\bar{H}} \exp(-i\mathbf{h}\mathbf{r}))\mathbf{E}(\mathbf{r}) &= 0; \\ \kappa &= \frac{k}{H}.\end{aligned}\tag{8'}$$

Уравнение (8) не поддается точному решению. Соответственно, требуется применить какой-либо способ приближенного решения. Есть два магистральных пути анализа уравнения (8). В первом случае, учитывая малость величины $\chi(\mathbf{r}')$, соотношение (8) представляется в виде неоднородного уравнения, правая часть которого рассматривается как малое возмущение, задающее поле падающей волны:

$$\text{rotrot}\mathbf{E}(\mathbf{r}') - \kappa^2\mathbf{E}(\mathbf{r}') = \chi(\mathbf{r}')\mathbf{E}(\mathbf{r}').$$

Приближенное решение ищется в пространстве вне рассеивающего кристалла на больших расстояниях от него в форме первого члена ряда борновского разложения. Оптический аналог этой задачи – дифракция Фраунгофера. Применимость такого подхода ограничивается малостью сечения рассеяния по сравнению с геометрической площадью сечения кристалла. Как известно, такой подход приводит к кинематической теории [2, 13].

Во втором случае из уравнения (8) строятся два варианта динамической теории. В первом варианте решение (8) ищется в форме блоховской волны, представляемой в виде бесконечного ряда плоских волн с волновыми векторами, соответствующими преломленной волне и дифрагированным волнам в кристалле. Это блоховская волна интерпретируется как многоволновое решение динамической теории. Использование разложения $\chi(\mathbf{r}')$ в ряд Фурье в конечном итоге приводит к бесконечной системе фундаментальных уравнений алгебраического типа Эвальда – Лауэ [1]. Поскольку решать бесконечную систему невозможно, приходится ограничиваться, как правило, двумя уравнениями, т.е. двухволновым приближением.

Во втором варианте теории решение (8) представляется в виде плоских волн с медленно меняющейся амплитудой; в результате двухволнового приближения получаются уравнения Такаги – Топена, которые можно интерпретировать как рекуррентные соотношения Дарвина, записанные в дифференциальной форме [3].

Здесь предлагается использовать новый подход к анализу основного уравнения (8). Физические предпосылки предлагаемого метода заключаются в следующем. Распространение рентгеновской волны в кристалле, не сопровождаемое появлением дополнительных рассеянных лучей, т.е. дифракции, адекватно описывается однородным волновым уравнением с $\epsilon = 1 + \chi_0$. Это соответствует распространению рентгеновской волны в кристалле как непрерывной среде с показателем преломления $\sqrt{\epsilon}$ по обычным законам оптики. Такую ситуацию в известном смысле можно назвать типичной. Напротив, появление дифрагированных лучей требует выполнения определенных геометрических условий для волновых векторов и вектора обратной решетки. Очевидно, что за подобное кардинальное изменение картины волнового поля в кристалле отвечает фурье-компонента χ_H .

Таким образом, несмотря на то, что все величины $\chi_0, \chi_H, \chi_{\bar{H}} \sim 10^{-5} \div 10^{-6}$, что формально позволяет использовать их в качестве параметра возмущения, указанные физические предпосылки предписывают выбор именно величины χ_H в качестве параметра возмущения.

2. Решение в приближении прямого разложения и геометрические условия дифракции

Применим вначале простейший метод возмущений – прямое разложение по параметру χ_H :

$$\mathbf{E}(\mathbf{r}) = \mathbf{E}_0(\mathbf{r}) + \chi_H \mathbf{E}_1(\mathbf{r}) + \chi_H^2 \mathbf{E}_2(\mathbf{r}) + \dots$$

Ограничимся разложением первого порядка. Имеем:

$$\text{rotrot}\mathbf{E}_0 + \chi_H \text{rotrot}\mathbf{E}_1 + \dots$$

$$-(\kappa^2(1 + \chi_0) + \kappa^2 \chi_H (\exp(i\mathbf{h}\mathbf{r}) + \frac{\chi_{\bar{H}}}{\chi_H} \exp(-i\mathbf{h}\mathbf{r}))) (\mathbf{E}_0 + \chi_H \mathbf{E}_1 + \dots) = 0 \quad (9)$$

Нулевое приближение соответствует нулевой степени параметра возмущения χ_H :

$$\text{rotrot}\mathbf{E}_0 - \kappa_0^2 \mathbf{E}_0 = 0;$$

$$\kappa_0^2 = \kappa^2(1 + \chi_0).$$

Решение этого векторного волнового уравнения выбираем в виде суперпозиции двух плоских волн:

$$\mathbf{E}_0(\mathbf{r}) = \mathbf{E}_{01}(\mathbf{r}) \exp(i\mathbf{\kappa}_0 \mathbf{r}) + \mathbf{E}_{02}(\mathbf{r}) \exp(-i\mathbf{\kappa}_0 \mathbf{r});$$

$$(\mathbf{\kappa}_0 \mathbf{E}_i) = 0$$

Основания для такого выбора следующие. Нулевое приближение соответствует распространению плоской поперечной волны в сплошной среде с постоянной проницаемостью. При этом полную систему волн образуют две волны, распространяющиеся в противоположных направлениях – это своеобразный аналог единого поля в кристалле для случая «пустой» решетки. Направления распространения и амплитуды этих волн остаются неопределенными и задаются в дальнейшем граничными условиями на границе вакуум–кристалл.

Первое приближение получается приравниванием к нулю всех членов (9), пропорциональных первой степени χ_H :

$$\begin{aligned} \text{rotrot}\mathbf{E}_1 - \kappa_0^2 \mathbf{E}_1 &= \kappa^2 (\exp(i\mathbf{h}\mathbf{r}) + \frac{\chi_{\bar{H}}}{\chi_H} \exp(-i\mathbf{h}\mathbf{r})) \mathbf{E}_0 = \\ &\kappa^2 (\exp(i(\mathbf{\kappa}_0 + \mathbf{h})\mathbf{r}) + \frac{\chi_{\bar{H}}}{\chi_H} \exp(i(\mathbf{\kappa}_0 - \mathbf{h})\mathbf{r})) \mathbf{E}_{01} + \\ &+ \kappa^2 (\exp(-i(\mathbf{\kappa}_0 - \mathbf{h})\mathbf{r}) + \frac{\chi_{\bar{H}}}{\chi_H} \exp(-i(\mathbf{\kappa}_0 + \mathbf{h})\mathbf{r})) \mathbf{E}_{02} \end{aligned} \quad (10)$$

Мы получили неоднородное волновое уравнение. Согласно теории возмущений, необходимо найти его частное решение. Стандартный метод решения этой задачи опирается на интегральное представление (10) с помощью функции Грина (фундаментального решения). Такой подход нас не устраивает по следующей причине. Существенным является то, что решение в данном случае имеет вид сферической волны. Интерпретация сферической волны связана с наличием источника (пусть даже и фиктивного) рассеянной волны, локализованного в кристалле. С математической точки зрения, это приводит к сингулярности типа $1/r$.

Вместе с тем физический характер задачи и вид основного уравнения свидетельствуют о делокализации поля (с точностью до вектора обратной решетки $\mathbf{H}$) ввиду однородности среды. Такие соображения можно подтвердить более строго, используя векторный аналог теоремы Блоха для основного уравнения (8). Таким образом, частное решение необходимо искать в виде плоской волны.

Решим эту задачу элементарным методом, который, хотя и не отличается универсальностью, зато эффективен. Требуется найти частное решение уравнения вида:

$$\text{rotrot}\mathbf{E}_0 - \kappa_0^2 \mathbf{E}_0 = \mathbf{A} \exp(i\mathbf{q}\mathbf{r}).$$

Учитывая, что в задаче имеются два выделенных направления $\mathbf{A}$ и $\mathbf{q}$, ищем его в виде:

$$\mathbf{E} = (\alpha\mathbf{A} + \beta\mathbf{q}) \exp(i\mathbf{q}\mathbf{r}).$$

Получим:

$$\text{rot}\mathbf{E} = \alpha[i\mathbf{q}\mathbf{A}] \exp(i\mathbf{q}\mathbf{r}) + \beta[i\mathbf{q}\mathbf{q}] \exp(i\mathbf{q}\mathbf{r}) = i[\mathbf{q}\mathbf{A}] \exp(i\mathbf{q}\mathbf{r})$$

$$\text{rotrot}\mathbf{E} = -\alpha[\mathbf{q}[\mathbf{q}\mathbf{A}]] \exp(i\mathbf{q}\mathbf{r}) = -\alpha(\mathbf{q}(\mathbf{q}\mathbf{A}) - \mathbf{q}^2 \mathbf{A}) \exp(i\mathbf{q}\mathbf{r})$$

$$\alpha(\mathbf{q}(\mathbf{q}\mathbf{A}) - \mathbf{q}^2 \mathbf{A}) - \kappa_0^2 (\alpha\mathbf{A} + \beta\mathbf{q}) = \mathbf{A}$$

$$\begin{cases} \alpha(q^2 - \kappa_0^2) = 1 \\ \alpha(\mathbf{q}\mathbf{A}) + \beta\kappa_0^2 = 0 \end{cases}$$

$$\alpha = \frac{1}{q^2 - \kappa_0^2}; \quad \beta = \frac{(\mathbf{q}\mathbf{A})}{\kappa_0^2(\kappa_0^2 - q^2)}.$$

Итак, частное решение имеет вид:

$$\mathbf{E} = \frac{\mathbf{A} \exp(i\mathbf{q}\mathbf{r})}{q^2 - \kappa_0^2} - \frac{\mathbf{q}(\mathbf{q}\mathbf{A}) \exp(i\mathbf{q}\mathbf{r})}{\kappa_0^2(q^2 - \kappa_0^2)}. \quad (11)$$

В нашем случае эту формулу можно еще упростить. В самом деле, учитывая условие $\text{div}\mathbf{D} = 0$, имеем:

$$\begin{aligned} \text{div}\mathbf{D} &= \text{div}(1 + \chi(\mathbf{r}))\mathbf{E} = \mathbf{E} \text{grad}(1 + \chi(\mathbf{r})) + (1 + \chi(\mathbf{r})) \text{div}\mathbf{E} = \\ &= \mathbf{E}_{0i} (i\hbar\chi_H \exp(i\mathbf{h}\mathbf{r}) - i\hbar\chi_{\bar{H}} \exp(-i\mathbf{h}\mathbf{r})) \exp(i\kappa_0 \mathbf{r}) + \\ &+ (1 + \chi_0 + \chi_H \exp(i\mathbf{h}\mathbf{r}) + i\chi_{\bar{H}} \exp(-i\mathbf{h}\mathbf{r})) i(\kappa_0 \mathbf{E}_{0i}) \exp(i\kappa_0 \mathbf{r}) = 0 \end{aligned}$$

$i=1, 2$.

Отсюда $(\kappa_0 \mathbf{E}_{0i}) = 0$; $(\hbar \mathbf{E}_{0i}) = 0$, т.е. в отсутствие источников поле строго поперечно. С учетом этого частное решение имеет вид:

$$\mathbf{E} = \frac{\mathbf{A} \exp(i\mathbf{q}\mathbf{r})}{q^2 - \kappa_0^2}.$$

Теперь можно записать решение в первом порядке теории возмущений:

$$\begin{aligned} \mathbf{E}_1 = & \kappa^2 \frac{\mathbf{E}_{01} \exp(i(\mathbf{\kappa}_0 + \mathbf{h})\mathbf{r})}{(\mathbf{\kappa}_0 + \mathbf{h})^2 - \kappa_0^2} + \kappa^2 \frac{\chi_{\bar{H}}}{\chi_H} \frac{\mathbf{E}_{01} \exp(i(\mathbf{\kappa}_0 - \mathbf{h})\mathbf{r})}{(\mathbf{\kappa}_0 - \mathbf{h})^2 - \kappa_0^2} + \\ & \kappa^2 \frac{\mathbf{E}_{02} \exp(-i(\mathbf{\kappa}_0 - \mathbf{h})\mathbf{r})}{(\mathbf{\kappa}_0 - \mathbf{h})^2 - \kappa_0^2} + \kappa^2 \frac{\chi_{\bar{H}}}{\chi_H} \frac{\mathbf{E}_{02} \exp(-i(\mathbf{\kappa}_0 + \mathbf{h})\mathbf{r})}{(\mathbf{\kappa}_0 + \mathbf{h})^2 - \kappa_0^2} \end{aligned} \quad (12)$$

В итоге прямое разложение с точностью до χ_H^2 имеет вид:

$$\begin{aligned} \mathbf{E}(\mathbf{r}) = & \mathbf{E}_0(\mathbf{r}) + \chi_H \mathbf{E}_1(\mathbf{r}) + \dots = \\ = & \mathbf{E}_{01} \left(\exp(i\mathbf{\kappa}_0 \mathbf{r}) + \kappa^2 \chi_H \frac{\exp(i(\mathbf{\kappa}_0 + \mathbf{h})\mathbf{r})}{(\mathbf{\kappa}_0 + \mathbf{h})^2 - \kappa_0^2} + \kappa^2 \chi_{\bar{H}} \frac{\exp(i(\mathbf{\kappa}_0 - \mathbf{h})\mathbf{r})}{(\mathbf{\kappa}_0 - \mathbf{h})^2 - \kappa_0^2} \right) + \\ & \mathbf{E}_{02} \left(\exp(-i\mathbf{\kappa}_0 \mathbf{r}) + \kappa^2 \chi_H \frac{\exp(-i(\mathbf{\kappa}_0 - \mathbf{h})\mathbf{r})}{(\mathbf{\kappa}_0 - \mathbf{h})^2 - \kappa_0^2} + \kappa^2 \chi_{\bar{H}} \frac{\exp(-i(\mathbf{\kappa}_0 + \mathbf{h})\mathbf{r})}{(\mathbf{\kappa}_0 + \mathbf{h})^2 - \kappa_0^2} \right) + \dots \end{aligned} \quad (13)$$

Вид этого выражения показывает, что помимо прямого ($\mathbf{\kappa}_0$) и обратного ($-\mathbf{\kappa}_0$) направлений распространения плоской волны в среде возникают также волны в направлениях $(\mathbf{\kappa}_0 \pm \mathbf{h})$ и $-(\mathbf{\kappa}_0 \pm \mathbf{h})$. Амплитуда этих волн пренебрежимо мала (в χ_H раз меньше) по сравнению с исходными, и не может существенно повлиять на общую картину волнового поля в кристалле. Или, иначе говоря, в кристалле распространяется преломленная (а также, возможно, отраженная) волна с небольшими искажениями.

Такое положение, однако, радикально меняется, когда какой-либо из знаменателей в формуле (12) стремится к нулю. В этом случае $\mathbf{E}_1 \rightarrow \infty$ и уже никак не может рассматриваться как малая поправка к $\mathbf{E}_0$. Тогда прямое разложение теряет силу и требуется его модификация. Очевидно, это происходит при условии

$$(\mathbf{\kappa}_0 \pm \mathbf{h})^2 - \kappa_0^2 \leq \chi_H.$$

Данное условие хорошо известно – это условие Лауэ для рентгеновских лучей (для электронов ему соответствует построение Бриллюэна), а посему нет нужды входить в детали физического смысла. Отметим лишь основные моменты: появление понятия атомной плоскости, от которой происходит отражение, формула Вульфа – Брэгга, сфера Эвальда (зона Бриллюэна для электронов) и т.д. В данном случае важно, что эти понятия возникают естественно, без всяких дополнительных предположений.

Итак, при некоторых значениях $\mathbf{\kappa}_0$ поле радикально меняется: возникают новые направления распространения волн, отличные от первоначального, т.е. дифракция. Здесь и далее мы ограничимся случаем, когда уравнению Лауэ удовлетворяют проходящая и дифрагированная волны – двухволновое приближение.

Таким образом, вблизи значений $\mathbf{\kappa}_0$, при которых наблюдается дифракция, необходима модификация прямого разложения. Принципиальным моментом здесь является параметрический характер взаимодействия среды и волнового поля, что дает физические (и математические) обоснования для поиска решения.

Существуют различные способы модификации прямого разложения. Все они направлены по существу на решение одной задачи – получение т.н. равномерно пригодного разложения вблизи интересующих нас значений параметров. По причинам, ясным из дальнейшего изложения, мы отдадим предпочтение известному методу многих масштабов [14], используемому для скалярного уравнения рассматриваемой задачи. Правда, с учетом специфики задачи, связанной с векторным характером исследуемого уравнения, нам понадобится некоторая его модифика-

ция. Для дифракции электронов, описываемой скалярным уравнением Шредингера, этой модификации не требуется.

3. Пространственное масштабирование

Основная идея метода в применении к рассматриваемой задаче состоит в следующем. Особенности волнового поля проявляются на разных пространственных масштабах, определяемых малым параметром разложения χ_H . Соответственно, можно рассматривать эти особенности в определенном приближении, независимо. Математически это достигается переходом от одной пространственной переменной (в нашем случае $\mathbf{r}$) к нескольким, отражающим различные масштабы задачи. Фиксируемое число масштабов определяет порядок разложения решения. Указанная выше модификация связана с тем, что метод многих масштабов применяется к скалярным уравнениям; здесь же мы распространяем его на векторное уравнение.

Итак, будем искать приближенное решение основного уравнения (8) в наиболее интересном случае в области брэгговского максимума, когда выполняется условие Лауэ $\mathbf{k}_0 \pm \mathbf{h} = \mathbf{k}_h$.

Сделаем в (8) замену $\mathbf{r} \rightarrow \mathbf{r}_0, \mathbf{r}_1, \dots, \mathbf{r}_H$, тем самым предполагая, что поле определяется разными пространственными масштабами:

$$\mathbf{E}(\mathbf{r}) = \mathbf{E}(\mathbf{r}_0, \mathbf{r}_1, \dots).$$

В дальнейшем, как и в прямом разложении, ограничимся первым порядком разложения; соответственно, будем рассматривать два пространственных масштаба $\mathbf{r}_0, \mathbf{r}_1$. Посмотрим, как при этом меняется оператор rot . Воспользуемся стандартным координатным представлением в декартовых координатах:

$$\text{rot} \mathbf{A} = \begin{vmatrix} \mathbf{i}_1 & \mathbf{i}_2 & \mathbf{i}_3 \\ \frac{\partial}{\partial x_1} & \frac{\partial}{\partial x_2} & \frac{\partial}{\partial x_3} \\ A_1 & A_2 & A_3 \end{vmatrix}$$

Учитывая замену $x_i \rightarrow x_i^0, x_i^1, \dots$, имеем для каждой из производных

$$\frac{\partial}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i^0} + \frac{\partial x_i^1}{\partial x_i^0} \frac{\partial}{\partial x_i^1} + \dots = \frac{\partial}{\partial x_i^0} + \chi_H \frac{\partial}{\partial x_i^1} + \dots$$

Тогда для $\text{rot} \mathbf{A}$ получим:

$$\text{rot} \mathbf{A} = \begin{vmatrix} \mathbf{i}_1 & \mathbf{i}_2 & \mathbf{i}_3 \\ \frac{\partial}{\partial x_1^0} & \frac{\partial}{\partial x_2^0} & \frac{\partial}{\partial x_3^0} \\ A_1 & A_2 & A_3 \end{vmatrix} + \chi_H \begin{vmatrix} \mathbf{i}_1 & \mathbf{i}_2 & \mathbf{i}_3 \\ \frac{\partial}{\partial x_1^1} & \frac{\partial}{\partial x_2^1} & \frac{\partial}{\partial x_3^1} \\ A_1 & A_2 & A_3 \end{vmatrix} + \dots = (\text{rot}_0 + \chi_H \text{rot}_1 + \dots) \mathbf{A},$$

т.е. оператор rot по отношению к проведенной замене линеен. Индекс у оператора означает пространство, в котором он действует. Воспользовавшись этим свойством, получим:

$$\begin{aligned} \text{rot} \text{rot} &= (\text{rot}_0 + \chi_H \text{rot}_1 + \dots)(\text{rot}_0 + \chi_H \text{rot}_1 + \dots) = \\ &= \text{rot}_0 \text{rot}_0 + \chi_H \text{rot}_1 \text{rot}_0 + \chi_H \text{rot}_0 \text{rot}_1 + \dots \end{aligned}$$

Здесь предусмотрительно учтено, что операторы rot_0 и rot_1 , вообще говоря, не коммутируют.

Как уже указывалось выше, взаимодействие поля со средой носит параметрический характер. Это означает, что наряду с разложением поля необходимо также разложить волновой вектор $\mathbf{k}_0$ по степеням χ_H .

$$\mathbf{E} = \mathbf{E}_0(\mathbf{r}_0, \mathbf{r}_1, \dots) + \chi_H \mathbf{E}_1(\mathbf{r}_0, \mathbf{r}_1, \dots) + \dots;$$

$$\mathbf{\kappa}_0 = \mathbf{\kappa}_{00} + \chi_H \mathbf{\kappa}_{01} + \dots; \quad (14)$$

$$\kappa_0^2 = (\mathbf{\kappa}_0, \mathbf{\kappa}_0) = \kappa_0^2 + 2\chi_H (\mathbf{\kappa}_0, \mathbf{\kappa}_{01}) + \dots = \kappa_0^2 + \chi_H X; \quad X = 2(\mathbf{\kappa}_0, \mathbf{\kappa}_{01})$$

Подставляем все разложения в основное уравнение (8):

$$(\text{rot}_0 \text{rot}_0 + \chi_H \text{rot}_1 \text{rot}_0 + \chi_H \text{rot}_0 \text{rot}_1 + \dots)(\mathbf{E}_0 + \chi_H \mathbf{E}_1 + \dots) -$$

$$-(\kappa_0^2 + \chi_H X + \dots + \kappa^2 \chi_H (\exp(i\mathbf{h}\mathbf{r}_0) + \frac{\chi_H}{\chi_H} \exp(-i\mathbf{h}\mathbf{r}_0))) (\mathbf{E}_0 + \chi_H \mathbf{E}_1 + \dots) = 0 \quad (15)$$

При этом $\chi(\mathbf{r})$ представлена как функция основного пространственного масштаба $\mathbf{r}_0$. Дальнейшая процедура проходит по стандартной схеме методов возмущений. А именно, последовательным приравниванием коэффициентов при степенях параметра возмущения χ_H получают исходное приближение (невозмущенная задача) и дальнейшие приближения. Равномерно пригодное разложение получается при наложении дополнительных условий – исключении секулярных (расходящихся) членов разложения. Подобное исключение, в свою очередь, обусловлено разложением $\mathbf{\kappa}_0$ и введением разных масштабов задачи.

Продemonстрируем эту процедуру. Нулевое приближение (невозмущенное уравнение) имеет по-прежнему вид стандартного векторного волнового уравнения для строго поперечной волны с волновым вектором $\mathbf{\kappa}_0$, распространяющейся в сплошной среде (континууме):

$$\text{rot}_0 \text{rot}_0 \mathbf{E}_0 - \kappa_0^2 \mathbf{E}_0 = 0. \quad (16)$$

Однако в отличие от прямого разложения, оператор rot затрагивает здесь только один пространственный масштаб – $\mathbf{r}_0$. Исходя из этого, а также имея (как всегда) в виду требование однородности поля в кристалле, решение следует искать в виде суперпозиции проходящей и дифрагированной волн (двухволновое приближение):

$$\mathbf{E}_0 = \mathbf{e}_1 c_1(\mathbf{r}_1) \exp(i\mathbf{\kappa}_{00} \mathbf{r}_0) + \mathbf{e}_2 c_2(\mathbf{r}_1) \exp(i\mathbf{\kappa}_h \mathbf{r}_0)$$

$$(\mathbf{\kappa}_{00}, \mathbf{e}_i) = (\mathbf{\kappa}_h, \mathbf{e}_i) = 0. \quad (17)$$

Величины $c_i(\mathbf{r}_1)$ относятся к другому пространственному масштабу и рассматриваются как «медленные» переменные.

Такая структура волнового поля предполагает строгое выполнение дифракционного условия Лауэ $\mathbf{\kappa}_0 \pm \mathbf{h} = \mathbf{\kappa}_h$ и наличие отражающей плоскости. В самом деле, из $(\mathbf{\kappa}_0 \pm \mathbf{h})^2 - \kappa_0^2 = 0$

следует условие $(\mathbf{\kappa}_0, \mathbf{h}) = \pm \frac{1}{2}$, которое накладывает ограничение лишь на составляющую $\mathbf{\kappa}_0$,

направленную вдоль $\mathbf{h}$: – $\mathbf{\kappa}_{0\parallel}$. Нормальная к $\mathbf{h}$ компонента $\mathbf{\kappa}_{0\perp}$ для $\mathbf{\kappa}_0$ и $\mathbf{\kappa}_h$ одинакова (рисунок).

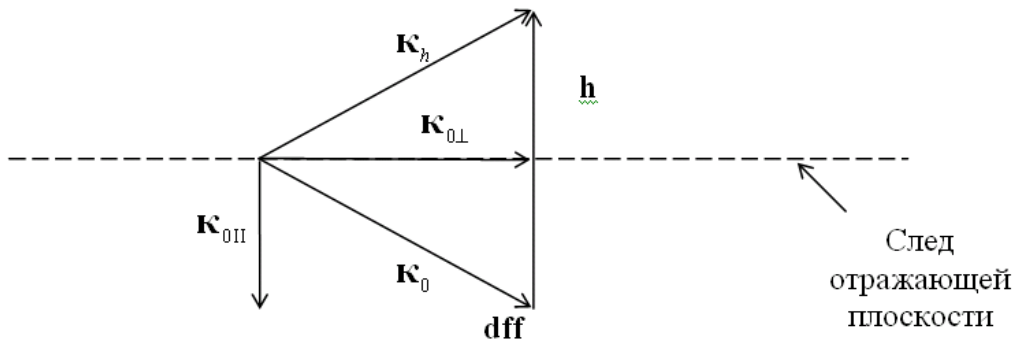


Рисунок. Расположение векторов преломленной и дифрагированной волн

Условие поперечности волн $(\mathbf{\kappa}_{00}, \mathbf{e}_i) = (\mathbf{\kappa}_h, \mathbf{e}_i) = 0$ определяет лишь плоскости, ортогональные соответствующим волновым векторам. Как известно, обычно рассматриваются два случая поляризации: у-поляризация, когда амплитуда поля лежит в плоскости, ортогональной плоскости дифракции, и р-поляризация, когда амплитуда поля лежит в плоскости дифракции. Случай у-поляризации, как более простой, предпочтительнее для дальнейшего рассмотрения.

Следующее приближение – первого порядка по χ_H – приводит к неоднородному уравнению:

$$\begin{aligned} \text{rot}_0 \text{rot}_0 \mathbf{E}_1 - \kappa_{00}^2 \mathbf{E}_1 = & -(\text{rot}_1 \text{rot}_0 + \text{rot}_0 \text{rot}_1) \mathbf{E}_0 + X \mathbf{E}_0 + \\ & \kappa^2 \left(\exp(i\mathbf{h}\mathbf{r}_0) + \frac{\chi_{\bar{H}}}{\chi_H} \exp(-i\mathbf{h}\mathbf{r}_0) \right) \mathbf{E}_0 \end{aligned} \quad (18)$$

Найдем $(\text{rot}_1 \text{rot}_0 + \text{rot}_0 \text{rot}_1) \mathbf{E}_0$. Имеем:

$$\begin{aligned} \text{rot}_0 \mathbf{E}_0 &= \text{rot}_0 (\mathbf{e}_1 c_1(\mathbf{r}_1) \exp(i\mathbf{\kappa}_{00} \mathbf{r}_0) + \mathbf{e}_2 c_2(\mathbf{r}_1) \exp(i\mathbf{\kappa}_h \mathbf{r}_0)) = \\ &= \exp(i\mathbf{\kappa}_{00} \mathbf{r}_0) [i\mathbf{\kappa}_{00} \mathbf{e}_1] c_1(\mathbf{r}_1) + \exp(i\mathbf{\kappa}_h \mathbf{r}_0) [i\mathbf{\kappa}_h \mathbf{e}_2] c_2(\mathbf{r}_1) \\ \text{rot}_1 \text{rot}_0 \mathbf{E}_0 &= [\nabla_1 c_1(\mathbf{r}_1), [i\mathbf{\kappa}_{00} \mathbf{e}_1]] \exp(i\mathbf{\kappa}_{00} \mathbf{r}_0) + [\nabla_1 c_2(\mathbf{r}_1), [i\mathbf{\kappa}_h \mathbf{e}_2]] \exp(i\mathbf{\kappa}_h \mathbf{r}_0) \\ \text{rot}_1 \mathbf{E}_0 &= [\nabla_1 c_1(\mathbf{r}_1) \mathbf{e}_1] \exp(i\mathbf{\kappa}_{00} \mathbf{r}_0) + [\nabla_1 c_2(\mathbf{r}_1) \mathbf{e}_2] \exp(i\mathbf{\kappa}_h \mathbf{r}_0) \\ \text{rot}_0 \text{rot}_1 \mathbf{E}_0 &= [i\mathbf{\kappa}_{00} [\nabla_1 c_1(\mathbf{r}_1) \mathbf{e}_1]] \exp(i\mathbf{\kappa}_{00} \mathbf{r}_0) + [i\mathbf{\kappa}_h [\nabla_1 c_2(\mathbf{r}_1) \mathbf{e}_2]] \exp(i\mathbf{\kappa}_h \mathbf{r}_0) \end{aligned}$$

Здесь оператор ∇_1 (градиент) действует в масштабе $\mathbf{r}_1$. Сгруппируем полученные выражения и преобразуем их согласно правилам векторной алгебры с учётом $(\mathbf{\kappa}_{00} \mathbf{e}) = (\mathbf{\kappa}_h \mathbf{e}) = 0$:

$$\begin{aligned} (\text{rot}_1 \text{rot}_0 + \text{rot}_0 \text{rot}_1) \mathbf{E}_0 = & (i\mathbf{\kappa}_{00} (\nabla_1 c_1, \mathbf{e}_1) - \mathbf{e}_1 (\nabla_1 c_1, i\mathbf{\kappa}_{00}) + \nabla_1 c_1 (i\mathbf{\kappa}_{00}, \mathbf{e}_1) - \mathbf{e}_1 (i\mathbf{\kappa}_{00}, \nabla_1 c_1)) \exp(i\mathbf{\kappa}_{00} \mathbf{r}_0) + \\ & (i\mathbf{\kappa}_h (\nabla_1 c_2, \mathbf{e}_2) - \mathbf{e}_2 (\nabla_1 c_2, i\mathbf{\kappa}_h) + \nabla_1 c_2 (i\mathbf{\kappa}_h, \mathbf{e}_2) - \mathbf{e}_2 (i\mathbf{\kappa}_h, \nabla_1 c_2)) \exp(i\mathbf{\kappa}_h \mathbf{r}_0) \end{aligned}$$

Подчиним это выражение дополнительному условию $(\nabla_1 c_1, \mathbf{e}_1) = 0$. Оно означает следующее. Величины $c_i(\mathbf{r}_1)$ рассматриваются как возмущенные амплитуды соответствующих плоских волн. При этом возмущение первого (и всех последующих) порядка не нарушает условия строгой поперечности волн. Иными словами мы полагаем, что возмущение не влияет на поляризацию волн. В итоге имеем:

$$(\text{rot}_1 \text{rot}_0 + \text{rot}_0 \text{rot}_1) \mathbf{E}_0 = -i2(\nabla_1 c_1, \mathbf{\kappa}_{00}) \mathbf{e}_1 \exp(i\mathbf{\kappa}_{00} \mathbf{r}_0) - i2(\nabla_1 c_2, \mathbf{\kappa}_h) \mathbf{e}_2 \exp(i\mathbf{\kappa}_h \mathbf{r}_0).$$

Тогда неоднородное уравнение приобретает вид:

$$\begin{aligned} \text{rot}_0 \text{rot}_0 \mathbf{E}_1 - \kappa_{00}^2 \mathbf{E}_1 = & \left((i2(\nabla_1 c_1, \mathbf{\kappa}_{00}) + X c_1) \mathbf{e}_1 + \kappa^2 \frac{\chi_{\bar{H}}}{\chi_H} c_2 \mathbf{e}_2 \right) \exp(i\mathbf{\kappa}_{00} \mathbf{r}_0) + \\ & + (\kappa^2 c_1 \mathbf{e}_1 + (i2(\nabla_1 c_2, \mathbf{\kappa}_h) + X c_2) \mathbf{e}_2) \exp(i\mathbf{\kappa}_h \mathbf{r}_0) + \\ & + \kappa^2 \frac{\chi_{\bar{H}}}{\chi_H} \exp(i(\mathbf{\kappa}_{00} - \mathbf{h})\mathbf{r}_0) c_1 \mathbf{e}_1 + \kappa^2 \exp(i(\mathbf{\kappa}_h + \mathbf{h})\mathbf{r}_0) c_2 \mathbf{e}_2. \end{aligned} \quad (19)$$

Два первых члена в правой части этого выражения порождают секулярные составляющие в разложении, как нетрудно видеть из полученного выше частного решения. Или, иначе, они

обеспечивают параметрический резонанс в системе. Следовательно, чтобы получить равномерное приближение вблизи условия Лауэ, необходимо обратить указанные члены в ноль.

Тогда получаем следующую систему векторных уравнений:

$$\begin{cases} (i2(\nabla_1 c_1, \mathbf{\kappa}_{00}) + Xc_1)\mathbf{e}_1 + \kappa^2 \frac{\chi_{\bar{H}}}{\chi_H} c_2 \mathbf{e}_2 = 0 \\ (i2(\nabla_1 c_2, \mathbf{\kappa}_h) + Xc_2)\mathbf{e}_2 + \kappa^2 c_1 \mathbf{e}_1 = 0 \end{cases} \quad (20)$$

В отличие от обычной скалярной системы, решение (20) требует дополнительных ограничений. Дело в том, что $\mathbf{e}$ и $\mathbf{e}_2$ в общем случае линейно независимы (например, для р-поляризации), т.е. образуют некоторый базис. Ясно, что, располагая лишь данной системой, в общем случае невозможно обеспечить неограниченное возрастание поля во всём пространстве. Поэтому необходимо выделить характерные направления (или ортогональные к ним плоскости), вдоль которых реализуется ограничение поля, т.е. получаемое решение оказывается равномерно пригодным. Исходя из физического смысла задачи, можно предположить, что эти направления связаны с проходящей ($\mathbf{\kappa}_{00}$) и дифрагированной волнами ($\mathbf{\kappa}_h$). Такое предположение подтверждается следующим образом.

Найдём частное решение неоднородной задачи в резонансном случае:

$$\text{rot rot } \mathbf{E} - \kappa_0^2 \mathbf{E} = \mathbf{e} \exp(i\mathbf{\kappa}_0 \mathbf{r}).$$

Ищем решение в виде:

$$\mathbf{E} = (\alpha(\mathbf{\kappa}_0 \mathbf{r})\mathbf{e} + \beta \mathbf{\kappa}_0 + \gamma(\mathbf{\kappa}_0 \mathbf{r})\mathbf{\kappa}_0) \exp(i\mathbf{\kappa}_0 \mathbf{r}).$$

Подставляя его в неоднородное уравнение и решая получающуюся систему относительно констант α, β, γ , получим:

$$\mathbf{E} = \left(\frac{i(\mathbf{\kappa}_0 \mathbf{r})}{2\kappa^2} \mathbf{e} - \frac{(\mathbf{\kappa}_0 \mathbf{e})}{\kappa^4} \mathbf{\kappa}_0 - \frac{i(\mathbf{\kappa}_0 \mathbf{e})(\mathbf{\kappa}_0 \mathbf{r})}{2\kappa^4} \mathbf{\kappa}_0 \right) \exp(i\mathbf{\kappa}_0 \mathbf{r}).$$

Отсюда видно, что неограниченное возрастание амплитуды волны ассоциировано с волновым вектором $\mathbf{\kappa}_0$, причём в направлении, совпадающим с $\mathbf{e}$. Тогда, исходя из смысла нулевого приближения, мы должны потребовать обращения в ноль проекции на $\mathbf{e}_1$ первого из уравнений системы и, аналогично, проекции на $\mathbf{e}_2$ – второго уравнения.

Таким образом, умножая скалярно первое уравнение системы на $\mathbf{e}_1$, а второе на $\mathbf{e}_2$, получим скалярную систему:

$$\begin{cases} i2(\nabla_1 c_1, \mathbf{\kappa}_{00}) + Xc_1 + \kappa^2 \frac{\chi_{\bar{H}}}{\chi_H} \eta c_2 = 0 \\ \kappa^2 \eta c_1 + i2(\nabla_1 c_2, \mathbf{\kappa}_h) + Xc_2 = 0 \end{cases} \quad (21)$$

где

$$\eta = (\mathbf{e}_1 \mathbf{e}_2) = \begin{cases} 1 - \text{для } \sigma - \text{поляризации} \\ \cos 2\theta - \text{для } \pi - \text{поляризации} \end{cases}$$

Полученная система фактически представляет собой записанное в дифференциальной форме дисперсионное соотношение для проходящей и дифрагированной волн в двухволновом приближении. Как следует из приведенного вывода, возможность получения этой системы диктуется выбором нулевого приближения. А именно, волновые вектора проходящей и дифраги-

рованной волн должны иметь одинаковую компоненту $\mathbf{K}_{0\perp}$, что влечет за собой интерпретацию рассеяния как результат отражения от атомной плоскости.

Перейдём от дифференциальной формы системы к алгебраической, для чего сделаем очевидную подстановку $c_j(\mathbf{r}_1) \rightarrow c_j \exp(i\mathbf{P}\mathbf{r})$, $\nabla_1 c_j = i\mathbf{P}c_j$, где $\mathbf{P}$ – некоторый постоянный вектор.

Получим:

$$\begin{cases} (-2(\mathbf{P}\mathbf{K}_{00}) + X)c_1 + \kappa^2 \frac{\chi_{\bar{H}}}{\chi_H} \eta c_2 = 0 \\ \kappa^2 \eta c_1 + (-2(\mathbf{P}\mathbf{K}_h) + X)c_2 = 0 \end{cases} \quad (22)$$

Эту систему следует рассматривать как условие ограничения поля в заданном направлении распространения волн, связанное со структурными параметрами кристалла и геометрией дифракции. По физическому смыслу рассматриваемой задачи такое ограничение должно быть обеспечено в направлении нормали в глубь кристалла. Учитывая это, перепишем систему в виде:

$$\begin{cases} (-2P\kappa_{00}\gamma_0 + X)c_1 + \kappa^2 \frac{\chi_{\bar{H}}}{\chi_H} \eta c_2 = 0 \\ \kappa^2 \eta c_1 + (-2P\kappa_h\gamma_h + X)c_2 = 0 \end{cases} \quad (23)$$

Здесь $\gamma_{0,h}$ – направляющие косинусы соответствующих волновых векторов, $\kappa_h = \kappa_{00}$.

Нетривиальное решение этой системы требует обращения в ноль соответствующего детерминанта:

$$\begin{vmatrix} -2P\kappa_{00}\gamma_0 + X & \kappa^2 \frac{\chi_{\bar{H}}}{\chi_H} \eta \\ \kappa^2 \eta & -2P\kappa_h\gamma_h + X \end{vmatrix} = 0 \quad (24)$$

$$= 4\kappa_{00}^2\gamma_0\gamma_h P^2 - 2\kappa_{00}X(\gamma_0 + \gamma_h)P + X^2 - \kappa^4 \frac{\chi_{\bar{H}}}{\chi_H} \eta^2 = 0$$

Решение квадратного уравнения относительно P имеет вид:

$$P_{1,2} = \frac{X(\gamma_0 + \gamma_h) \pm \left[X^2(\gamma_0 - \gamma_h)^2 + 4\gamma_0\gamma_h\kappa^4\eta^2 \frac{\chi_{\bar{H}}}{\chi_H} \right]^{1/2}}{4\kappa_{00}\gamma_h\gamma_0} = \frac{X(\gamma_0 + \gamma_h) \pm D}{4\kappa_{00}\gamma_h\gamma_0}. \quad (25)$$

Тогда, разрешая, скажем, первое уравнение системы относительно c_2 , получим:

$$c_2 = \frac{X(\gamma_0 - \gamma_h) \pm D}{2\kappa^2\eta\gamma_h \frac{\chi_{\bar{H}}}{\chi_H}} c_1 = \alpha_{1,2} c_1. \quad (26)$$

В итоге, возвращаясь к исходным переменам, представим волновое поле в кристалле в следующем виде:

$$\begin{aligned} \mathbf{E} = & \exp(i\chi_H(\mathbf{P}_1\mathbf{r}))(\exp(i\kappa_{00}\mathbf{r})\mathbf{e}_1 + \alpha_1 \exp(i\kappa_h\mathbf{r})\mathbf{e}_2)c_{11} \\ & + \exp(i\chi_H(\mathbf{P}_2\mathbf{r}))(\exp(i\kappa_{00}\mathbf{r})\mathbf{e}_1 + \alpha_2 \exp(i\kappa_h\mathbf{r})\mathbf{e}_2)c_{12} \end{aligned} \quad (27)$$

Здесь константы c_{ij} снабжены дополнительными индексами, соответствующими значениям P_1 и P_2 .

Выражение для волнового поля упрощается в случае полубесконечного кристалла, когда исключается отражение волн от нижней грани кристалла.

В этом случае выбор знака в $P_{1,2}$ и, соответственно, в $b_{1,2}$ определяется физическими соображениями. А именно, необходимо потребовать, чтобы при отклонении от точного брэгговского условия (возрастании $|X|$) волновое поле переходило к обычному виду преломленной волны, распространяющейся в кристалле как континууме. Тогда имеем:

$$P = \frac{X(\gamma_0 + \gamma_h) - \text{sgn}(X)D}{4\kappa_{00}\gamma_h\gamma_o}; \quad (28)$$

$$\alpha = \frac{X(\gamma_0 - \gamma_h) - \text{sgn}(X)D}{2\kappa^2\eta\gamma_h \frac{\chi_{\bar{H}}}{\chi_H}}, \quad (29)$$

$$\text{sgn}(X) = \begin{cases} 1, & X \geq 0 \\ -1, & X < 0 \end{cases}$$

В итоге волновое поле в кристалле имеет вид:

$$\mathbf{E} = \exp(i\chi_H(\mathbf{Pr}))(\exp(i\kappa_{00}\mathbf{r})\mathbf{e}_1 + \alpha \exp(i\kappa_h\mathbf{r})\mathbf{e}_2)c, \quad (30)$$

где константа c определяется из граничных условий.

Соотношение (30) представляет собой единое волновое поле в идеальном кристалле вблизи брэгговского максимума.

Чтобы сопоставить полученное выражение с известными результатами и с экспериментом, необходимо перейти к угловой переменной – отклонению от точного угла Брэгга Ди. Для этого параметр $X = 2(\kappa_{00}\kappa_{01})$ должен быть выражен через Ди. Как уже отмечалось, параметрический резонанс (дифракционное условие Лауэ $(\kappa_0\mathbf{h}) = \mp \frac{1}{2}$) определяется лишь компонентой $\kappa_{0\parallel}$, направленной вдоль $\mathbf{h}$ в силу векторного характера задачи. Это означает, что вектор κ_{01} в разложении $\kappa_0 = \kappa_{00} + \chi_H\kappa_{01}$ направлен вдоль $\mathbf{h}$:

$\kappa_{01} = \kappa_{01}\mathbf{h}$ (напомним, $|\mathbf{h}|=1$). Тогда имеем:

$$2(\kappa_{00}, \kappa_{01}) = X = 2\kappa_{00}\kappa_{01} \cos(90^\circ + \theta) = -2\kappa_{00}\kappa_{01} \sin \theta.$$

С другой стороны, фиксируемое в эксперименте отражение определяется нормальной компонентой волнового вектора κ_0 : $\kappa_{0n} = (\kappa_0\mathbf{n})$. То есть, угловое сканирование приводит к вариации κ_{0n} . Отсюда получаем соотношения:

$$\begin{aligned} \kappa_0 &= \kappa_{00} + \chi_H\kappa_{01}; \\ \kappa_{0n} &= (\kappa_0\mathbf{n}) = \kappa_0\gamma_0 = (\kappa_{00}\mathbf{n}) + \chi_H(\kappa_{01}\mathbf{n}) = \kappa_{00}\gamma_0 + \chi_H \cdot \kappa_{01}((\kappa_h - \kappa_{00})\mathbf{h}) = \\ &= \kappa_{00}\gamma_0 + \chi_H\kappa_{01}\kappa_{00}(\gamma_h - \gamma_0) \end{aligned}$$

Здесь учтено $\mathbf{h} = \mathbf{\kappa}_h - \mathbf{\kappa}_0$, а также $|\mathbf{\kappa}_0| = |\mathbf{\kappa}_h|$. Тогда имеем:

$$\kappa_{01}\kappa_{00} = \frac{1}{\chi_H} \frac{\gamma_0}{\gamma_h - \gamma_0} (\kappa_0 - \kappa_{00}).$$

По условию дифракции $\kappa_{00} \sin \theta = \frac{h}{2} = \frac{1}{2}$; $\kappa_0 \sin(\theta + \Delta\theta) = \frac{h}{2} = \frac{1}{2}$;

$$\kappa_0 - \kappa_{00} = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{\sin(\theta + \Delta\theta)} - \frac{1}{\sin \theta} \right) \approx -\frac{\Delta\theta \cos \theta}{2 \sin^2 \theta}.$$

Подставляем в выражение для X :

$$\begin{aligned} X &= \frac{1}{\chi_H} \frac{\gamma_0}{\gamma_h - \gamma_0} \frac{2\Delta\theta \sin \theta \cdot \cos \theta}{2 \sin^2 \theta} = \frac{1}{\chi_H} \frac{\gamma_0}{\gamma_h - \gamma_0} \frac{\Delta\theta \sin 2\theta}{2 \sin^2 \theta} = \\ &= \frac{1}{\chi_H} \frac{\gamma_0}{\gamma_h - \gamma_0} \frac{2\Delta\theta \sin 2\theta}{4 \sin^2 \theta} = \frac{1}{\chi_H} \frac{\gamma_0}{\gamma_h - \gamma_0} \kappa_{00}^2 (2\Delta\theta \sin 2\theta) = -\frac{1}{\chi_H} \frac{\gamma_0}{\gamma_h - \gamma_0} \kappa_{00}^2 \beta_H \end{aligned} \quad (31)$$

Здесь введена стандартная (с точностью до преломления) угловая переменная

$$\beta_H = -2\Delta\theta \sin 2\theta.$$

Как известно, в теории дифракции рассматриваются две основные схемы: по Лауэ ($\gamma_0 > 0, \gamma_h > 0$) и по Брэггу ($\gamma_0 > 0, \gamma_h < 0$). В случае дифракции по Брэггу структура волнового поля будет качественно различаться в зависимости от рассматриваемого углового интервала.

В частности, в интервале:

$$X^2 (\gamma_0 + |\gamma_h|)^2 < 4\gamma_0 |\gamma_h| \kappa^4 \eta^2 \frac{\chi_{\bar{H}}}{\chi_H}$$

волны будут испытывать экспоненциальное затухание по нормали в глубь кристалла (напомним, $\mathbf{P} = P\mathbf{n}$). В терминах качественной теории дифференциальных уравнений решение будет неустойчивым. Известная интерпретация [15–19] приводит к выводу о «выталкивании» волны из кристалла и формировании дифракционного максимума. Таким образом, указанное условие отделяет устойчивые решения (колебательный тип) от неустойчивых (экспоненциальный тип), т.е. дает уравнения переходных кривых параметрической плоскости (X, κ^2) [15–19].

Ширина неустойчивой области – области экстинкционного затухания волны – определяется выражением:

$$\Delta X = \frac{4\kappa^2 \eta \left(\frac{\chi_{\bar{H}}}{\chi_H} \right)^{1/2} (\gamma_0 |\gamma_h|)^{1/2}}{\gamma_0 + |\gamma_h|}. \quad (32)$$

Или, переходя к угловой переменной,

$$\Delta\theta = \frac{2\eta(\chi_H \chi_{\bar{H}})^{1/2} \left(\frac{|\gamma_h|}{\gamma_0} \right)^{1/2}}{(1 + \chi_0) \sin 2\theta}. \quad (33)$$

Это известное выражение (с точностью до преломления) для угловой ширины брэгговского столика в случае полубесконечного идеального непоглощающего кристалла.

Длина экстинкции Λ_{ext} определяется как декремент затухания волны в точном брэгговском положении:

$$\Lambda_{ext} = \frac{2\kappa_{00}(|\gamma_h|\gamma_0)^{1/2}}{\kappa^2\eta(\chi_{\bar{H}}\chi_H)^{1/2}} \approx \frac{\kappa}{|\chi_H|}. \quad (34)$$

Подведем промежуточные итоги. Применение обобщенного метода многих масштабов позволило получить систему фундаментальных уравнений, описывающую поведение волнового поля вблизи брэгговского максимума в двухволновом приближении. Эта система является прямым аналогом дисперсионных соотношений теории Эвальда – Лауэ и системы Такаги – Топэна обобщенной динамической теории. Существенное отличие развиваемого варианта теории состоит в отказе от процедуры укорочения уравнений путем отбрасывания вторых производных. Принципиальный момент здесь – разложение по χ_H , которое позволяет максимально сохранить структуру уравнений Максвелла для волнового поля в кристалле в условиях динамической дифракции.

Сопоставление полученных результатов с известными из теории, скажем, Такаги, показывает полное соответствие как в качественной интерпретации типов полученных решений в различных угловых интервалах в случае дифракции по Брэггу, так и в аналитических выражениях для ширины брэгговского максимума и длины экстинкции. Это соответствие указывает также на то обстоятельство, что, несмотря на формальное представление $\chi(\mathbf{r})$ в виде бесконечного ряда Фурье в теориях Эвальда – Лауэ и Такаги – Топэна, в действительности используются лишь три члена ряда.

Однако ценность развиваемой здесь теории проявляется в наибольшей степени при учете граничных условий, который дает явные выражения для коэффициента отражения. Перейдем поэтому теперь к рассмотрению граничных условий и посмотрим, в чем состоит принципиальное различие нашего подхода и известных вариантов динамической теории дифракции.

4. Решение граничной задачи и коэффициент отражения

Полученное выше выражение для волнового поля в кристалле зависит, согласно (30), от константы c , которая должна определяться граничными условиями задачи. Как уже указывалось выше, в теории Такаги – Топэна нет возможности использовать классические граничные условия электродинамики, поскольку отбрасывание вторых производных от амплитуд по координатам понижает порядок уравнения. В итоге граничные условия переопределяют задачу; взамен ставятся новые граничные условия, определяющие лишь амплитуды полей на поверхности кристалла. Такая процедура оказывается вполне корректной при обычных геометриях дифракции, когда углы падения и выхода волн существенно превосходят критические значения.

Выясним теперь, к каким отличиям приводит строгий учет граничных условий в нашей теории.

Коэффициент отражения определяется как отношение усредненных значений нормальных компонент вектора Пойнтинга дифрагированной и падающей волн:

$$R = \frac{|c_h^0|^2}{|c^0|^2} \cdot \frac{(\mathbf{n}\mathbf{k}_h^0)}{(\mathbf{n}\mathbf{k})} \quad (35)$$

Здесь $\mathbf{n}$ – единичный вектор нормали, направленный в глубь кристалла, $\mathbf{k}$, c^0 и $\mathbf{k}_h^0$, c_h^0 – волновые вектора и амплитуды падающей и дифрагированной волн соответственно. Индекс 0 означает, что значения указанных величин относятся к внешней среде – вакууму. Таким образом, определение коэффициента отражения связано с нахождением амплитуды дифрагированной волны в вакууме. Эта задача решается с помощью граничных условий.

Как известно, граничные условия требуют непрерывности тангенциальных компонент электрического и магнитного полей, которая является следствием однородности задачи вдоль поверхности. Граничная задача распадается на последовательные этапы, связанные с нахождением c_h^0 . При этом на каждом этапе рассматривается элементарная задача установления связи между амплитудами падающей, прошедшей и зеркально отраженной волн. Решение этой задачи приводит к известным формулам Френеля:

$$c = \frac{(\mathbf{n}, \mathbf{\kappa}) - (\mathbf{n}, \mathbf{\kappa}_R)}{(\mathbf{n}, \mathbf{\kappa}_0 + \mathbf{P}) - (\mathbf{n}, \mathbf{\kappa}_R)} c^0 = \frac{2(\mathbf{n}, \mathbf{\kappa})}{(\mathbf{n}, \mathbf{\kappa}_0 + \mathbf{P}) + (\mathbf{n}, \mathbf{\kappa})} c^0; \quad (36)$$

$$c_R = \frac{(\mathbf{n}, \mathbf{\kappa}) - (\mathbf{n}, \mathbf{\kappa}_0 + \chi_H \mathbf{P})}{(\mathbf{n}, \mathbf{\kappa}_0 + \chi_H \mathbf{P}) - (\mathbf{n}, \mathbf{\kappa}_R)} c^0 = \frac{(\mathbf{n}, \mathbf{\kappa}) - (\mathbf{n}, \mathbf{\kappa}_0 + \chi_H \mathbf{P})}{(\mathbf{n}, \mathbf{\kappa}_0 + \chi_H \mathbf{P}) + (\mathbf{n}, \mathbf{\kappa})} c^0; \quad (37)$$

$$c_h^0 = \frac{(\mathbf{n}, \mathbf{\kappa}_h + \chi_H \mathbf{P}) - (\mathbf{n}, \mathbf{\kappa}_{hR})}{(\mathbf{n}, \mathbf{\kappa}_h^0) - (\mathbf{n}, \mathbf{\kappa}_{hR})} \alpha c = \frac{(\mathbf{n}, \mathbf{\kappa}_h + \chi_H \mathbf{P}) - (\mathbf{n}, \mathbf{\kappa}_{hR})}{(\mathbf{n}, \mathbf{\kappa}_h^0) - (\mathbf{n}, \mathbf{\kappa}_{hR})} \cdot \frac{2(\mathbf{n}, \mathbf{\kappa})}{(\mathbf{n}, \mathbf{\kappa}_0 + \chi_H \mathbf{P}) + (\mathbf{n}, \mathbf{\kappa})} \alpha c^0 \quad (38)$$

Здесь c_R – амплитуда зеркально отраженной волны, $\mathbf{\kappa}_{hR}$ – волновой вектор дифракционной волны, зеркально отраженной от нижней стороны границы раздела кристалл–вакуум.

Полученные соотношения позволяют найти не только дифрагированную волну, но также и зеркально отраженную волну, что принципиально отличает наш подход от формализма уравнений Такаги.

Формулы (36)–(38) решают задачу определения амплитуд полей в условиях скользкой некомпланарной дифракции, когда падающая и дифракционная волны оказываются вблизи критических углов ПВО. Они аналогичны соотношениям, полученным в [20], где эта задача решалась с привлечением дисперсионного уравнения четвертого порядка.

Разумеется, здесь должно выполняться соответствие с теорией Такаги для случая больших углов падения и выхода дифракционной волны. Действительно, в этом случае амплитуда зеркальной волны, как и должно быть, стремится к нулю, а коэффициент отражения приобретает вид:

$$R = \left| \frac{c_h^0}{c^0} \right|^2 \cdot \frac{(\mathbf{n}, \mathbf{\kappa}_h^0)}{(\mathbf{n}, \mathbf{\kappa})} = |\alpha|^2 \frac{(\mathbf{n}, \mathbf{\kappa}_h^0)}{(\mathbf{n}, \mathbf{\kappa})} = \frac{\gamma_0(1 + \chi_0)\beta_H - \text{sgn}(\beta_H)[(\gamma_0(1 + \chi_0)\beta_H)^2 + 4\gamma_0\gamma_H\eta^2\chi_H\chi_H]^{1/2}}{2\gamma_H\eta\chi_H} \cdot \frac{\gamma_H}{\gamma_0} \quad (39)$$

Это известное выражение для коэффициента отражения от идеального полубесконечного кристалла – брэгговский столик. Вместе с тем в случае предельно асимметричной дифракции, когда выходящая из кристалла дифракционная волна почти параллельна поверхности, амплитуда модулируется факторами, учитывающими преломление проходящей и дифрагированной волн на границе кристалл–вакуум, и дифракционное взаимодействие волн, связанное с вектором $\mathbf{P}$.

5. Сопоставление с классическими теориями

Представленный в данной главе вариант теории динамической рентгеновской дифракции опирается на прямой анализ уравнений Максвелла при определенных модельных представлениях взаимодействия поля со средой. Такой анализ оказывается возможным при использовании метода многих масштабов, адаптированного к векторному характеру задачи. При этом параметром разложения является величина χ_H , что в полной мере соответствует физическому характеру задачи. Подобное соответствие отражается в математической структуре анализируемого уравнения поля в кристалле в условиях динамического рассеяния.

Полученные выражения для основных характеристик поля в области брэгговского максимума, вытекающие из качественных особенностей распространения волн, соответствуют известным результатам динамической теории. Однако корректное применение граничных условий приводит к выражению для коэффициента отражения, которое существенно отличается от классического в случае предельно асимметричных схем дифракции. Кроме того, представленный подход дает амплитуду зеркально отраженной волны в условиях динамической дифракции, которая, очевидно, не может быть получена в рамках традиционных подходов.

В рамках данной работы мы не ставим задачу подробного анализа особенностей динамического рассеяния в скользящих геометриях дифракции.

В заключение отметим наиболее важные, на наш взгляд, отличия и преимущества развитого в данной работе подхода.

Анализируемое волновое уравнение второго порядка без каких-либо дополнительных предположений о возможности взаимодействия преломленной и рассеянной волн автоматически приводит к динамическому характеру рассеяния, кинематическое рассеяние в таком случае можно рассматривать в известном смысле как искусственный прием, имеющий ограниченную применимость. Дифракционные условия Лауэ возникают как следствие естественных ограничений прямого разложения решения в резонансном случае.

В рамках развитой теории оказывается возможным единое рассмотрение различных геометрических схем дифракции, в том числе скользящей геометрии и прочих поверхностных вариантов, причем порядок дисперсионного уравнения при этом не меняется. Такая ситуация связана с эффективным разделением задачи на построение единого волнового поля в кристалле и нахождение амплитуд полей согласно граничным условиям.

Предлагаемая теория допускает обобщение на случай кристалла с нарушениями решетки. Тем самым реализуется единый подход к учету деформаций и других нарушений во всех схемах дифракции, что особенно важно в случае дифракции в условия ПВО.

К числу преимуществ теории можно отнести определение волнового поля в целом, без разделения на преломленную и рассеянную волны. Ясно, что эта особенность теории имеет наибольшее значение при анализе вторичных процессов дифракции.

Автор выражает благодарность профессору Ю.П. Хапачеву за конструктивное обсуждение вопросов, затронутых в данной работе.

Библиография

1. Джеймс Р. Оптические принципы дифракции рентгеновских лучей / под ред. В.И. Ивероновой. – М.: ИЛ, 1950. – 572 с.
2. Иверонова В.И., Ревкевич Г.П. Теория рассеяния рентгеновских лучей. – М.: МГУ, 1978. – 278 с.
3. Пинскер З.Г. Рентгеновская кристаллооптика. – М.: Наука. – 392 с.
4. Энтин И.Р. О динамической дифракции рентгеновских лучей на кристалле с периодическим полем смещений // ЖЭТФ. – 1979. – Т. 77. – Вып. 1 (7). – С. 214–222.

5. Andreeva M.A., Rocette K., Khapachev Yu.P. Matrix Analog of the Takagi Equations for Grazing-Incidence Diffraction // *Phys. stat. sol. (a)*. – 1985. – V. 88, № 2. – P. 455–462.
6. Андреева М.А., Борисова С.Ф., Хапачев Ю.П. Матричный аналог уравнений Такаги для скользящих углов падения // *Металлофизика*. – 1986. – Т. 8, № 5. – С. 44–49.
7. Андреева М.А., Дышеков А.А., Хапачев Ю.П. Полукинематическая теория резкоасимметричной дифракции на бикристалле // *Металлофизика и новейшие технологии*. – 1994. – Т. 16, № 4. – С. 22–26.
8. Андреева М.А., Кузьмин Р.Н. Мессбауэровская и рентгеновская оптика поверхности. – М.: Общественная академия знаний, 1996. – 128 с.
9. Дышеков А.А. Нестандартная теория рассеяния рентгеновских лучей // *Актуальные вопросы современного естествознания*. – 2009. – Вып. 7. – С. 3–20.
10. Дышеков А.А. Пространственное масштабирование в теории рассеяния рентгеновских лучей. Нестандартная динамическая теория. *Металлофизика и новейшие технологии*. – 2010. – Т. 32, № 1. – С. 13–21.
11. Дышеков А.А. Нестандартная динамическая теория рассеяния рентгеновских лучей в кристаллах. РСНЭ-НБИК 2009. – С. 442; Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. – 2010. – № 10. – С. 1–10.
12. Демидович Б.П. Лекции по математической теории устойчивости. – М.: Наука, 1967. – 472 с.
13. Ландау Л.Д., Лившиц Е.М. Электродинамика сплошных сред. – М.: Наука, 664 с.
14. Найфэ А. Введение в методы возмущений. – М.: Мир, 1984. – 536 с.
15. Khapachev Yu.P. The theory of dynamical X-ray diffraction on a superlattice // *Phys. stat. sol. (b)*. – 1983. – V. 120, № 1. – P. 155–163.
16. Хапачев Ю.П., Чуковский Ф.Н. Динамическая дифракция рентгеновских лучей в кристаллических сверхрешетках (обзор) // *Металлофизика и новейшие технологии*. – 1991. – Т. 13, № 7. – С. 65–85.
17. Дышеков А.А., Хапачев Ю.П. Динамическая дифракция рентгеновских лучей в сверхрешетках (обзор) // *Успехи физики металлов*. – 2001. – Т. 2, № 4. – С. 281–351.
18. Хапачев Ю.П., Дышеков А.А. Теория динамической рентгеновской дифракции в сверхрешетках. Допущено Министерством образования Российской Федерации в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений. – Нальчик: КБГУ, 2002. – 96 с.
19. Молодкин В.Б., Шпак А.П., Дышеков А.А., Хапачев Ю.П. Динамическое рассеяние рентгеновского и синхротронного излучения в сверхрешетках. Рентгенодифракционная кристаллооптика сверхрешеток. – Киев: Академперіодика, 2004. – 120 с.
20. Бушуев В.А., Орешко А.П. Зеркальное отражение рентгеновских лучей в условиях резко асимметричной некомпланарной дифракции в кристалле с аморфной пленкой // *ФТТ*. – 2001. – Т. 43. – С. 906–912.

ДЕЙСТВИЕ ЭЛЕКТРОННЫХ И ЛАЗЕРНЫХ ПУЧКОВ НА ПОЛИЭТИЛЕН

А.П. Савинцев

Исследовались последствия облучения полиэтилена низкого давления и полиэтилена низкого давления с органической добавкой 0.1 % органока электронным пучком, и полученные результаты сравнивались с данными по лазерной засветке этих же материалов. Облучение материалов электронным пучком проводилось в течение 5 минут; суммарная плотность потока электронов доходила до $5 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2}$. Линейно поляризованное лазерное излучение на длинах волн 510.6 нм (главным образом) и 578.2 нм действовало на полиэтилен в течение 3–5 с; плотность средней мощности лазерной засветки достигала у поверхности вещества 100 мВт/см^2 . Облучение электронным и лазерным пучками изменяло проводимость изученных материалов схожим образом, а тангенс угла диэлектрических потерь – по-разному.

Influence of affect laser radiation on organic dielectric has been studied. Radiation polymers constant polarized laser light small intensity has been found to large variation number of electric parameter organic medium.

Цель исследования

Целью нашей работы являлось изучение электретных состояний полиэтилена после облучения образцов электронным пучком и сравнение полученных результатов с данными по лазерной засветке этих же сред [1].

Действие на диэлектрики электрического поля ведет к тому, что суммарный электрический момент среды становится отличен от нуля. Однако такое (электретное) состояние может возникнуть и при наличии избыточного заряда в среде, полученного под действием различных факторов: температуры, света, проникающей радиации и др. [2]. Если для получения таких типов электретов, как электроэлектреты [3] и термоэлектреты [4], необходимы особые внешние воздействия, то для радиоэлектретов [5] и фотоэлектретов [2] возникновение электретного состояния может происходить более естественным путем. Так, радиоэлектреты и фотоэлектреты могут присутствовать в элементах конструкции аппаратов, выведенных в космическое пространство. Для выяснения возможного действия на диэлектрики повышенной солнечной радиации и других космических факторов наши материалы подвергались в одних опытах лазерной засветке, а в других – облучению электронами.

Методика эксперимента

Влияние облучения на полиэтилен определялось по изменениям электрических параметров (ЭП) среды: удельной объемной реактивной электропроводности (σ_c), удельной объемной активной электропроводности (σ_a), удельной объемной проводимости по постоянному току (σ_v) и тангенса угла диэлектрических потерь ($\text{tg}\delta$).

По методу диэлектрической релаксации на частоте 1 МГц с использованием куметра ВМ-560 фирмы «TESLA» проводились измерения емкости и добротности исследуемых образцов, по которым далее определялись значения σ_c и $\text{tg}\delta$. Для нахождения σ_a использовалось соотношение $\sigma_a = \sigma_c \cdot \text{tg}\delta$. Величина σ_v определялась на тераомметре Е6-13А [6]. Результаты регистрировались при комнатной температуре (σ_c^0 , σ_a^0 , σ_v^0 , $\text{tg}\delta_0$ – начальные данные). Относительная погрешность определения σ_c составляла у нас 3.2%, $\text{tg}\delta$ – 7 %, σ_a и σ_v – 10 %.

Были изучены технический полиэтилен низкого давления (ПЭНД) и ПЭНД с органической добавкой 0.1 % органока (ПЭНД+Ор). Образцы имели толщину 0.8 мм.

Облучение материалов электронным пучком проводилось на ускорителе «Электроника» ЭЛУ-4. Суммарная плотность потока электронов за 5 минут облучения доходила до $5 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2}$.

Линейно поляризованное лазерное излучение активного элемента на парах меди длительностью 20 нс, с частотой 8.5 кГц освещало полиэтилен, на длинах волн 510.6 нм (главным образом) и 578.2 нм [7], в течение 3–5 с. Исследуемые материалы подвергались облучению лазерным пятном большого диаметра, так что каждый образец засвечивался весь сразу полностью. У поверхности вещества плотность световой мощности в импульсе достигала величины 0.6 кВт/см^2 , а плотность средней мощности лазерной засветки доходила до 100 мВт/см^2 .

Таким образом, в данных опытах использовалось небольшое по времени облучение образцов поляризованными лазерными импульсами средней интенсивности.

Результаты эксперимента

Результаты проведенных измерений показали, что электронное и лазерное облучение влияет на характеристики изученных диэлектриков.

На рис. 1–4 представлены изменения ЭП, сопровождающие оба вида облучения.

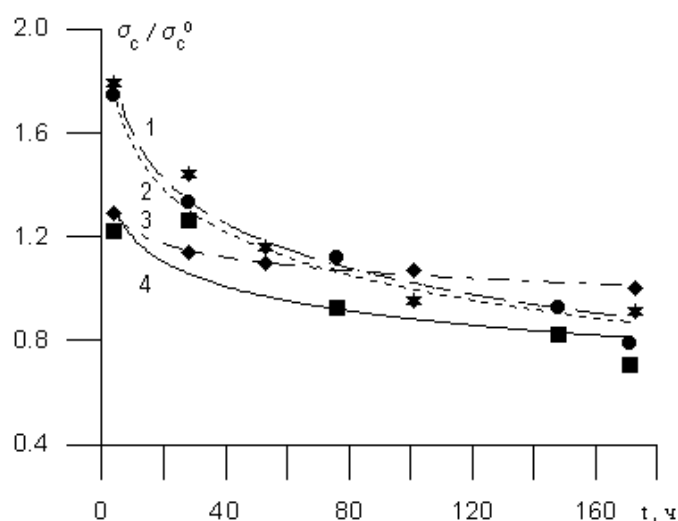


Рис. 1. Удельная объемная реактивная электропроводность материалов после облучения:

- 1 – ПЭНД+Ор (электр. пучок); 2 – ПЭНД+Ор (лаз. пучок);
3 – ПЭНД (электр. пучок); 4 – ПЭНД (лаз. пучок)

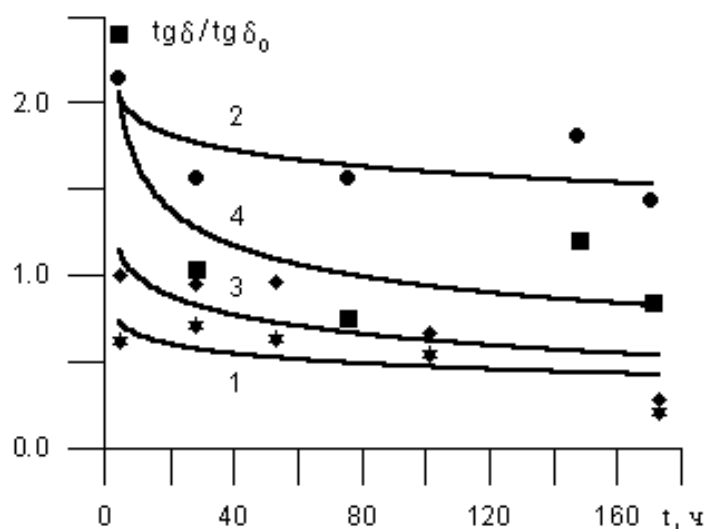


Рис. 2. Тангенс угла диэлектрических потерь материалов после облучения:

- 1 – ПЭНД+Ор (электр. пучок); 2 – ПЭНД+Ор (лаз. пучок);
3 – ПЭНД (электр. пучок); 4 – ПЭНД (лаз. пучок)

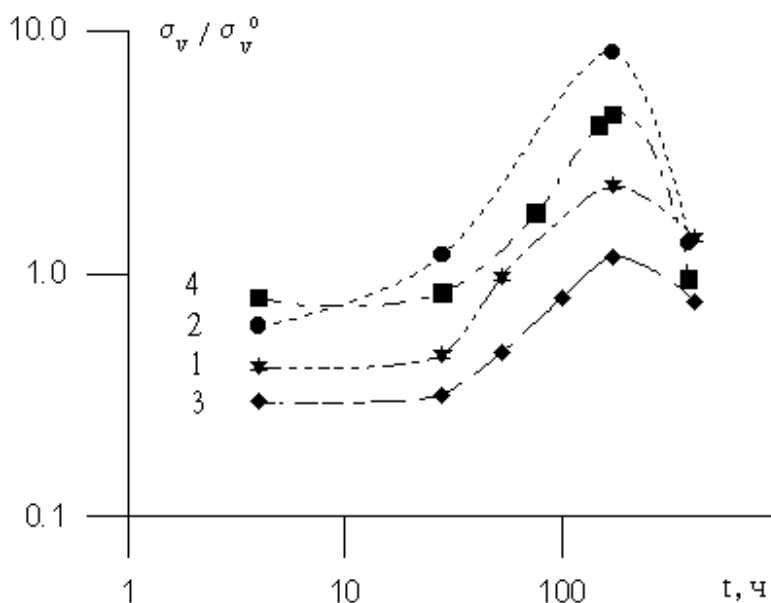


Рис. 3. Удельная объемная проводимость материалов по постоянному току после облучения: 1 – ПЭНД+Ор (электр. пучок); 2 – ПЭНД+Ор (лаз. пучок); 3 – ПЭНД (электр. пучок); 4 – ПЭНД (лаз. пучок)

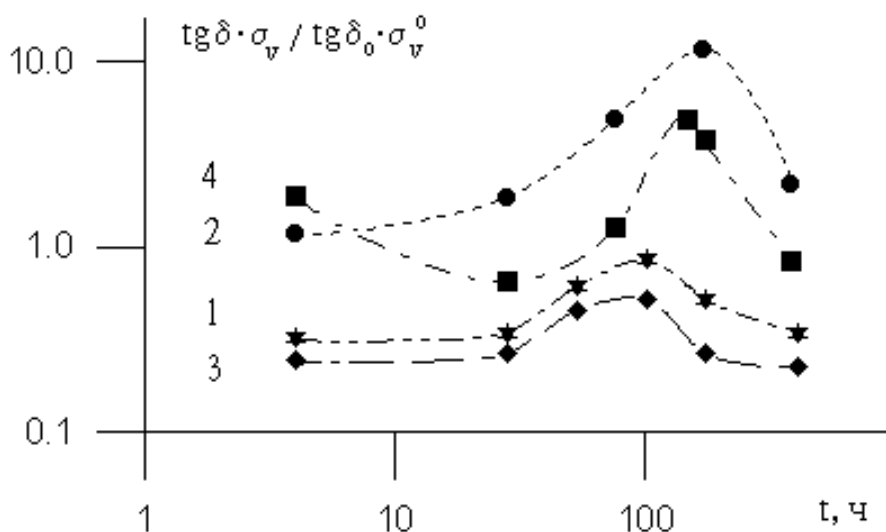


Рис. 4. Электрические параметры материалов после облучения: 1 – ПЭНД+Ор (электр. пучок); 2 – ПЭНД+Ор (лаз. пучок); 3 – ПЭНД (электр. пучок); 4 – ПЭНД (лаз. пучок)

Как видно из рис. 1, облучение электронным и лазерным пучками изменяет удельную объемную реактивную электропроводность наших материалов схожим образом: сначала рост σ_c , а затем многочасовая релаксация к начальным значениям. Согласно полученным данным, для ПЭНД+Ор наблюдается практически полное количественное и качественное соответствие скачков и кривых релаксации, а у ПЭНД видно некоторое отличие: для лазерного облучения σ_c снижается (после начального роста) более ощутимо.

Обработка результатов измерений свидетельствует о том, что вариации σ_a после облучения схожи с изменениями, наблюдаемыми для σ_c : облучение вызывает сначала рост σ_a , а затем идет многочасовое снижение σ_a к равновесным значениям.

Как показывает рис. 2, электронное облучение и лазерная засветка меняют тангенс угла диэлектрических потерь наших сред по-разному: если лазерное облучение вызывает увеличение $\operatorname{tg}\delta$ засвечиваемых диэлектриков, то электронные пучки стимулируют снижение $\operatorname{tg}\delta$ облучаемых веществ; если после лазерной засветки $\operatorname{tg}\delta$ через 30 часов приходит к равновесным значениям, то для электронных воздействий стабилизация величины $\operatorname{tg}\delta$ не достигается и через 170 часов после облучения.

Поведение удельной объемной проводимости по постоянному току после любого облучения является схожим. Как наглядно видно из рис. 3, во всех случаях для обоих материалов через 170 часов после облучения наблюдается значительное возрастание σ_v , а спустя 400 часов σ_v снижается практически до начальных значений.

Если рассмотреть зависимость от времени такого параметра, как $\operatorname{tg}\delta \cdot \sigma_v$, то график будет представлять собой некоторую кривую с экстремумами (рис. 4). При этом кривые для электронного облучения и лазерной засветки ПЭНД+Ор будут иметь один экстремум (максимум), а кривая для лазерной засветки ПЭНД будет иметь два экстремума (максимум и минимум).

Обсуждение результатов

Значительные времена релаксации наших ЭП (десятки и сотни часов) и наблюдаемое поведение σ_v позволяют судить о том, что под действием облучения в наших веществах начинают проявляться электретные свойства (электронное облучение приводит у нас к возникновению радиоэлектретов, а под действием лазерной засветки мы получаем фотоэлектреты).

Известно, что электреты после снятия внешних воздействий релаксируют к начальному состоянию достаточно медленно; время релаксации может меняться от нескольких часов до нескольких лет [4].

Пики на зависимости σ_v от времени регистрируются после релаксации σ_c и $\operatorname{tg}\delta$ (когда остаточная поляризация среды уже разрушена) и связаны с рассасыванием свободного заряда, накопленного в объеме под действием облучения. Если разрушение остаточной поляризации проявляется в переменном внешнем электрическом поле (на зависимости тока смещения от времени [4]), то рассасывание свободного заряда хорошо наблюдается в постоянном внешнем электрическом поле (на зависимости от времени для сквозного тока [2]).

Как показывает рис. 3, под действием облучения в объеме ПЭНД+Ор возникает более значительный свободный заряд, чем в объеме ПЭНД. Это является следствием действия интенсивных потоков энергии на органох, который и служит источником появления в объеме добавочных электронов.

Видимо, вид кривой зависимости $\operatorname{tg}\delta \cdot \sigma_v$ от времени отражает характер поглощения материалами падающего излучения. Для электронного облучения наших диэлектриков и лазерного облучения оптически слабо прозрачного ПЭНД+Ор можно говорить о поверхностном поглощении падающей энергии; для ПЭНД, который обладает лучшим пропусканием на длинах волн лазерного излучения, имеет место не только поверхностное, но и объемное поглощение лазерных пучков [8].

Под действием поляризованной лазерной засветки в диэлектрике согласованно по всему объему наблюдаются зарядовые явления, возникает ориентационная поляризация среды вдоль оси, задаваемой вектором поляризации падающего излучения. Поскольку облучение происходит не одномоментно, то наведенная поляризация фиксируется, что создает предпосылки для перевода материала в электретное состояние (неполяризованное лазерное излучение не создает ориентационной поляризации, согласованной по всему объему, и поэтому для такой засветки электретное состояние проявляется слабее [1, 9]).

Кроме того, необходимо отметить наличие (вследствие лазерного облучения) некоторого дополнительного изменения состояния среды за счет небольшой добавки ударных воздействий и теплофизических процессов.

Выводы

1. В случае небольшого по времени облучения поляризованными лазерными импульсами средней интенсивности наблюдаются зарядовые явления в лазерном поле при наличии некоторого дополнительного изменения состояния среды за счет небольшой добавки ударных воздействий и теплофизических процессов.

2. Небольшая добавка ударных воздействий несколько меняет характер динамики электрических характеристик, обусловленной чисто зарядовыми явлениями в поляризованном лазерном поле. Происходит перестройка среды, и с течением времени электрические параметры образцов выходят на новое постоянное значение.

Библиография

1. Савинцев А.П. Воздействие излучения активной среды на органические диэлектрики // Известия вузов. Физика. – 2001. – Т. 44, № 7. – С. 57–61.
2. Воробьев Г.А. Диэлектрические свойства электроионизационных материалов. – Томск: Изд-во Томск. ун-та, 1984. – 125 с.
3. Губкин А.Н. Электреты: Электретный эффект в твердых диэлектриках. – М.: Наука, 1978. – 191 с.
4. Бартенев Г.М., Зеленов Ю.В. Физика и механика полимерных материалов. – М.: Высшая школа, 1983. – 391 с.
5. Боев С.Г., Ушаков В.Я. Радиационное накопление заряда в твердых диэлектриках и методы его диагностики. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 252 с.
6. Справочник по электроизмерительным приборам / под ред. К.К. Илюнина. – Л.: Энергоатомиздат, 1983. – 784 с.
7. Петраш Г.Г. Лазеры на парах металлов // Справочник по лазерам / под ред. акад. А.М. Прохорова. – М.: Сов. радио, 1978. – Т. 1. – С. 183–197.
8. Савинцев А.П., Темроков А.И. Действие интенсивных потоков энергии на органические диэлектрики // Физика экстремальных состояний вещества – 2002: сборник статей / под ред. акад. В.Е. Фортова и др. – Черногловка, 2002. – С. 145–146.
9. Савинцев А.П., Темроков А.И. Влияние неполяризованного лазерного излучения на органические диэлектрики // Химия высоких энергий. – 2002. – Т. 36, № 5. – С. 381–385.

О РАДИАЦИОННОМ ТЕПЛООБМЕНЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ЧАСТИЦ

Г.В. Дедков, А.А. Кясов

В рамках флуктуационной электродинамики численно исследуется радиационный теплообмен сферических частиц в контакте между собой и с толстой пластиной при малой ширине вакуумного зазора. Рассматривается случай металлических материалов частиц и пластин в различных геометрических конфигурациях. Показано, что мощность теплоотдачи металлических тел в несколько десятков раз меньше, чем в случае ионных диэлектриков.

Radiative heat exchange of spherical particles between each other and with thick plates is studied numerically at small thickness of vacuum gap. The case of metallic materials of the particles and plates is considered in different geometrical configurations. The radiative heat flux of metallic particles is shown to be by about several ten times smaller than in the case of ionic insulators.

Настоящее сообщение является продолжением нашей недавней работы [1] по радиационному теплообмену диэлектрических сферических частиц между собой и в вакуумном контакте с толстой пластиной. В работе [1] расчеты проводились для тел из диоксида кремния, диэлектрическая функция которого имеет два пика поглощения в тепловом частотном диапазоне. Здесь же рассматривается случай металлических тел с диэлектрической функцией $\varepsilon(\omega)$, описываемой моделью Дрude с параметрами $\omega_p = 1.37 \cdot 10^{16} \text{ rad/s}$ и $\tau = 1.89 \cdot 10^{-14} \text{ s}$, соответствующими золоту. Наряду с выяснением характера отличий радиационного теплообмена в контактах диэлектрических и металлических материалов, мы также рассматриваем соотношение между радиационными кондактансами в конфигурациях сфера – сфера и сфера – плоскость. Кроме того, анализируются результаты эксперимента [2], в котором использовалась конфигурация иглы сканирующего термического микроскопа над поверхностью золота.

Как и в [1], предполагается, что зондирующая частица имеет форму сферы радиусом R , нагрета до температуры T_1 и находится вблизи пластины с температурой T_2 ($T_1 > T_2$), находящейся в тепловом равновесии с окружающим вакуумным фоном, также характеризующимся температурой T_2 . Минимальное расстояние z_0 сферы от пластины удовлетворяет условию $z_0 \ll R$. Вторая из рассматриваемых нами конфигураций – конфигурация двух сферических частиц одинакового радиуса R , находящихся в близком вакуумном контакте с шириной зазора $z_0 \ll R$. Для расчета скорости охлаждения частицы $\dot{Q}$ и ее термического кондактанса $G = \dot{Q}/(T_1 - T_2)$ применяется дипольно-аддитивное приближение (DAA) флуктуационно-электромагнитной теории [1, 3], основанное на общих результатах, полученных нами для конфигураций дипольная частица – пластина [3] и двух дипольных частиц [4].

Для контроля полученных результатов мы также пользуемся локально-плоским приближением (LFA) [5], в котором $\dot{Q}$ и G находятся из выражения для скорости теплообмена плоских пластин – другой геометрической конфигурации, для которой известно точное решение [6, 7]. Вклады в тепловое излучение частиц в вакуумный фон рассчитываются в двух вариантах: для частиц малого радиуса ($R \leq 5 \mu\text{m}$) – в дипольном приближении, а для частиц большего радиуса – в приближении Стефана – Больцмана. Во втором случае поток излучения от сферы находится умножением на $4\pi R^2$ величины потока излучения в вакуум, исходящего от единицы плоской поверхности [1].

В модели DAA свойства немагнитной сферической частицы характеризуются электрической $\alpha_e(\omega)$ и магнитной $\alpha_m(\omega)$ поляризуемостями, выраженными через диэлектрическую проницаемость $\varepsilon(\omega)$ классическими соотношениями [8]. Магнитная поляризуемость немагнитной металлической частицы появляется в результате наведенных токов Фуко. При переходе к DAA в выражении для $\alpha_m(\omega)$ остается дополнительный модельный параметр $\tilde{R}$ с размерностью длины, отличающийся от величины полного радиуса частицы R . В наших расчетах величина $\tilde{R}$ выбиралась с таким условием, чтобы при минимальной ширине зазора $1 \div 10 \text{ nm}$ значения теплового кондактанса находились в согласии с результатами расчета в модели LFA. При этом мы получили оценку $\tilde{R} = 50 \div 60 \text{ nm}$ при вариации радиуса R в пределах от 0.1 до $50 \mu\text{m}$. Такая величина параметра $\tilde{R}$ близка к типичным значениям толщины скин-слоя для излучения в тепловом диапазоне, и в то же время $\tilde{R} \ll R$, что необходимо для возможности применения аддитивного приближения [9].

На рис. 1, 2 приведены результаты расчета теплового кондактанса сферических частиц золота с радиусами 5 и $25 \mu\text{m}$, находящихся вблизи поверхности золота ($T = 300 \text{ K}, \Delta T \rightarrow 0$). Моделям DAA и LFA соответствуют сплошные линии и линии, показанные точками. Штриховыми линиями показаны вклады излучения в вакуум. При $z_0 < 0.1 \mu\text{m}$, как и следовало ожидать, модели DAA и LFA хорошо согласуются между собой. Величина $z_0 = 0.1 \mu\text{m}$ близка к длине волны поверхностных плазмонов и определяет эффективную ширину щели, в пределах которой теплоотдача в металлическом радиационном контакте быстро уменьшается до вакуумного уровня. Однако в диапазоне расстояний $0.1 \div 10 \mu\text{m}$ обе модели существенно различаются: в LFA кондактанс частицы, находящейся вблизи пластины, остается всегда ниже, чем в ее отсутствие, в то время как в DAA имеется минимум теплоотдачи при $z_0 \approx 1 \mu\text{m}$, после которого она восстанавливается до вакуумного значения. Кроме того, при $z_0 > 10 \mu\text{m}$ наблюдаются также слабые осцилляции теплового потока.

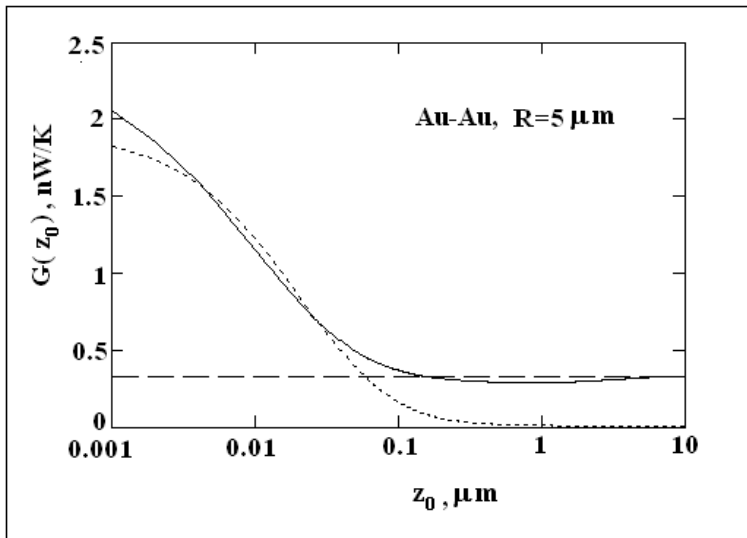


Рис. 1. Радиационно-тепловой кондактанс сферических частиц *Au* в вакуумном контакте с пластиной *Au* ($R = 5 \mu\text{m}, T = 300 \text{ K}, \Delta T \rightarrow 0$).

Сплошная линия – DAA с учетом излучения в вакуум (в дипольном приближении);
точечная линия – LFA;
штриховая линия – вклад излучения в вакуум

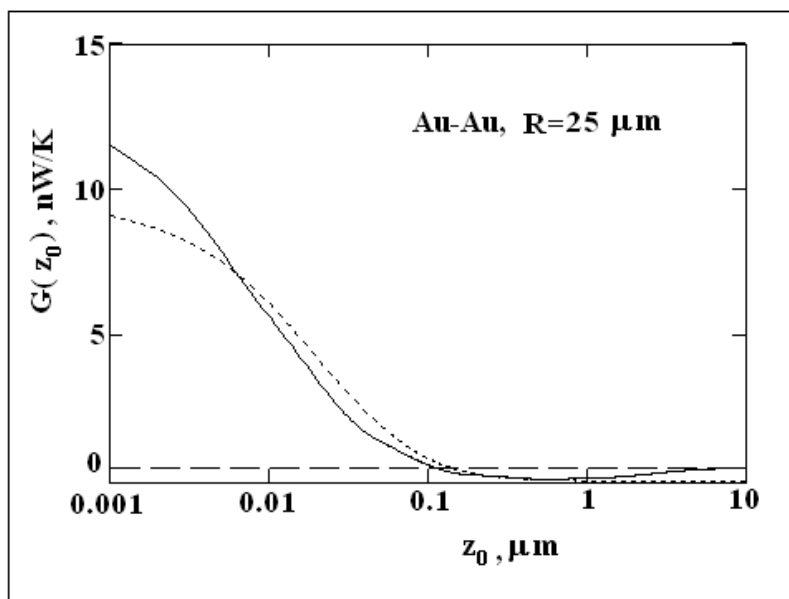


Рис. 2. То же, что на рис. 1, при $R = 25 \mu m$. Вклад излучения в вакуум (штриховая линия) рассчитан в приближении Стефана – Больцмана

Для сравнения конфигураций сфера – пластина и сфера – сфера на рис. 3 показаны результаты расчета отношения соответствующих кондактансов $K(z_0)$ с учетом вакуумных вкладов для частиц с радиусами 1, 5 и 25 микрон. Как видно из рис. 3, предположение авторов [10] о том, что $K(z_0) = 2$, является достаточно грубым. При $z_0 \leq 0.05 \mu m$ для частиц с радиусами $R = 5 \div 25 \mu m$ $K(z_0) > 2$, а для частиц малого радиуса ($R = 1 \mu m$ и менее, по нашим расчетам) эффективность теплового излучения в конфигурации двух сфер становится более высокой при минимальных значениях ширины щели.

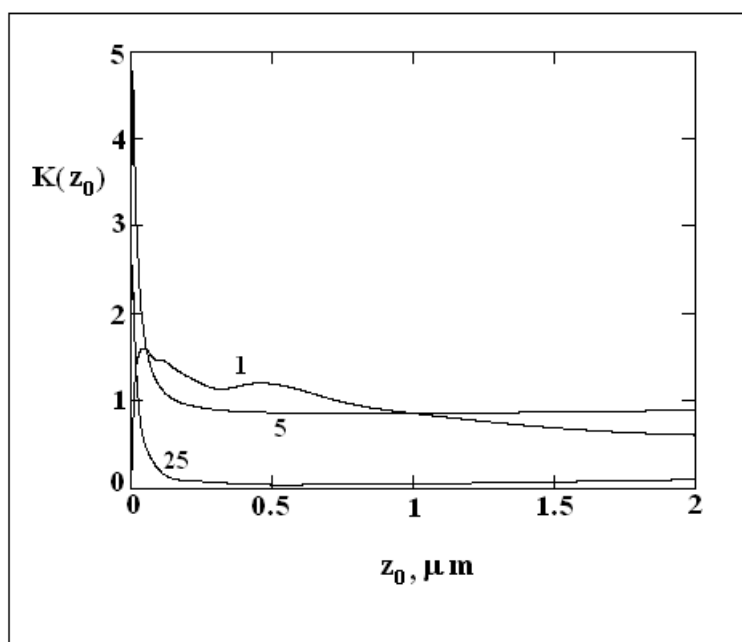


Рис. 3. Отношение кондактансов в конфигурациях сфера – пластина (DAA) и сфера – сфера для частиц *Au* и пластины *Au*. В обоих случаях вклады излучения в вакуум включены в расчет, $T = 300K$, $\Delta T \rightarrow 0$, радиусы частиц в μm указаны на соответствующих кривых

Кратко остановимся на результатах эксперимента [2] для контакта $Au - Au$, в котором радиус зондирующей части иглы термического микроскопа был равен 60 nm , а температуры зонда и поверхности составляли 300 K и 100 K соответственно. При этих условиях при минимальном расстоянии $z_0 = 1\text{ nm}$ измеренная скорость теплоотдачи оказалась близкой к $\dot{Q} = 10^{-5}\text{ W}$. Расчет по модели DAA для данного случая дает $\dot{Q} = 3 \cdot 10^{-9}\text{ W}$ и $G = 0.02\text{ nW/K}$ (при $T = 300\text{ K}$ и $\Delta T \rightarrow 0$). Налицо явное несоответствие экспериментальных и теоретических значений. Авторы [2], используя упрощенную теоретическую схему расчета, также отметили это несоответствие, и оно побудило их к предложению специальной эвристической модели для согласования теоретических данных с экспериментальными. По нашему мнению, расхождение может быть связано не с изъянами теоретических моделей теплообмена, базирующихся на флуктуационно-электромагнитной теории, а с неточной калибровкой экспериментальных данных, что могло привести к значительному завышению результатов измерений. Об этом свидетельствует то, что качественный ход зависимости $\dot{Q}(z_0)$ в [2] хорошо согласуется с теоретически ожидаемым: теплоотдача характеризуется такой же критической шириной зазора $0.1\text{ }\mu\text{m}$, по достижении которой она приближается к вакуумному уровню. Имеется согласие и с величиной ожидаемого относительного изменения мощности излучения: на два порядка величины при увеличении z_0 от 1 nm до 100 nm . Еще один аргумент в подтверждение сказанного состоит в том, что величина радиационно-теплого кондактанса в эксперименте [2] на несколько порядков величины превышает и измеренные значения кондактанса в случае диэлектрических материалов, что в корне противоречит как теоретическим представлениям [6, 7, 9], так и экспериментальным результатам [10, 11].

Сравнивая величины рассчитанных кондактансов (рис. 1, 2) с аналогичными в случае диоксида кремния [1, 9], можно заключить, что теплоотдача диэлектрических частиц при $z_0 < 0.1\text{ }\mu\text{m}$ оказывается более чем на один порядок величины больше, чем у металлических частиц, а характерное расстояние, на котором она достигает вакуумного уровня, увеличивается до нескольких микрометров. Это обусловлено тем, что резонансы поглощения диоксида кремния соответствуют длинам волн около 7 и $20\text{ }\mu\text{m}$, поэтому область ближнего поля у ионных диэлектриков простирается дальше от поверхности, чем в случае металлических тел. Такое же соотношение получается и при сравнении кондактансов двух пластин: при $l = 0.01\text{ }\mu\text{m}$ кондактанс стеклянных пластин в 50 раз выше, чем металлических [9]. В близкой пропорции находятся и кондактансы частиц при излучении в вакуум. Так, для частиц диоксида кремния с радиусом $R = 25\text{ }\mu\text{m}$ вакуумный кондактанс составляет 36.6 nW/K (при $T = 300\text{ K}$, $\Delta T \rightarrow 0$), а для металлических – только 0.48 nW/K . Для мелких частиц с радиусом $0.05\text{ }\mu\text{m}$ кондактансы в случае диоксида кремния и золота составляют 0.15 pW/K и 0.002 pW/K , но соотношение между ними практически не изменяется.

Библиография

1. Дедков Г.В., Кясов А.А. Письма ЖТФ. – 2010. – Т. 36. – Вып. 18. – С. 32.
2. Kittel A., Muller-Hirsch W., Parisi J., Biehs S.A., Reddig D., Holthaus M. // Phys.Rev.Lett. 95, 224301(2005)
3. Дедков Г.В., Кясов А.А. // Наноструктуры. Математическая физика и моделирование. 2009. Т. 1. Вып. 2. С.5; ФТТ 2009. Т. 51. Вып. 1. С.3; J. Phys. C: Condens. Matter. – 2008. – V. 20. – № 35. – P. 354006

4. Dedkov G.V., Kyasov A.A. // J. Comp. Theor. Nanoscience 2010. – V. 7. – P. 1; Письма ЖТФ. – 2010. – Т. 34. – Вып. 7. – С.66
5. Дерягин Б.В., Чураев Н.В., Муллер В.М. Поверхностные силы. – М.: Наука, 1985.
6. Polder D., Van Hove M. // Phys. Rev. – 1971. – V. B4. – P. 3303.
7. Loomis J.J., Maris H.J. // Phys. Rev. – 1994. – V. B50. – P. 18517.
8. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Электродинамика сплошных сред. – М.: Наука, 1982.
9. Дедков Г.В., Кясов А.А., ФТТ (принята к печати).
10. Sheng Shen, Narayanaswamy A. and Gang Chen // 2008. Phys. Rev. – V. B78. – P. 115303.
11. Sheng Shen, Narayanaswamy A. and Gang Chen // Nanoletters. – 2009. – V. 9. – № 8. – P. 2909; Appl. Phys. – 2009. – V. A96. – P. 357.

ИССЛЕДОВАНИЕ МОРФОЛОГИИ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ ПЛЕНОК НА ОСНОВЕ ТИТАНА, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ МАГНЕТРОННОГО РАСПЫЛЕНИЯ

С.П. Тимошенков, Д.С. Гаев, А.Н. Бойко, Н.М. Горшкова

Методом магнетронного распыления получены наноструктурированные пленки состава $Ti_{1-x}V_x$, представляющие интерес в качестве геттерных покрытий в микроэлектромеханических системах. Показано, что получаемые покрытия имеют выраженный гранулированный характер, с размером зерен в диапазоне 20–120 нм. Рассчитанные значения фрактальной размерности свидетельствуют о высокой развитости поверхности пленок.

The magnetron sputtering have been made the nanostructured films of structure $Ti_{1-x}V_x$, which are of interest in quality getters coatings for using in microelectromechanical systems. It is shown that received coatings have the expressed granulated character, with the size of grains in a range of 20–120 nanometers. The calculated values fractal dimensions testify to high specific surface of coatings.

Введение

Многие микроэлектромеханические устройства и системы (МЭМС), такие, как гироскопы, акселерометры, болометры, требуют контроля состава газовой среды или поддержания вакуума внутри корпуса, что требует применения газопоглотителей (геттеров) при производстве МЭМС. Необходимость разработки новых технологий создания геттеров для МЭМС обусловлена многими факторами. Назовём основные из них. Во-первых, это миниатюрность и особенности функционирования микросистем: традиционные газопоглотители, как распыляемые, так и нераспыляемые, имеют слишком большой объём для встраивания в корпус МЭМС. Во-вторых, многие микроструктуры не выдерживают нагрева выше 400–500 °С, т.е. требуются геттеры с низкой температурой активирования. И, в-третьих, при использовании нераспыляемых геттеров, изготавливаемых методами порошковой технологии, возможно образование микрочастиц, нарушающих функционирование МЭМС.

Поэтому актуальной задачей является разработка технологий формирования газопоглотителей, удовлетворяющих функциональным требованиям микросистем, а также соответствующих тенденций к интеграции технологических процессов формирования микроструктур и газопоглотителей. Технология формирования геттеров должна быть совместима с процессами, применяющимися при герметизации МЭМС: анодным соединением, эвтектическим соединением, пайкой стеклянной фриттой и другими. Искомые технологии должны обеспечивать активную развитую поверхность, и в то же время исключать возможность появления микрочастиц в корпусе.

В связи со сказанным выше представляется перспективным метод магнетронного осаждения, который является одним из базовых методов, используемых в технологии интегральных схем при формировании металлизации. Применение магнетронного осаждения позволяет получать наноструктурированные плёнки, характеризующиеся высокоразвитой поверхностью. В известной мере, наличие развитой поверхности является одним из условий высокой сорбционной емкости геттера и его эффективности применительно к технологии МЭМС.

Целью настоящей работы было исследование морфологии наноструктурированных газопоглощающих плёнок состава $Ti_{70}V_{30}$, полученных магнетронным распылением составных и порошковых мишеней. Выбор материала исследуемой плёнки обусловлен высокоэффективными геттерными свойствами сплава $Ti_{70}V_{30}$, который характеризуется высокой активностью к газам и относительно низкой температурой активации.

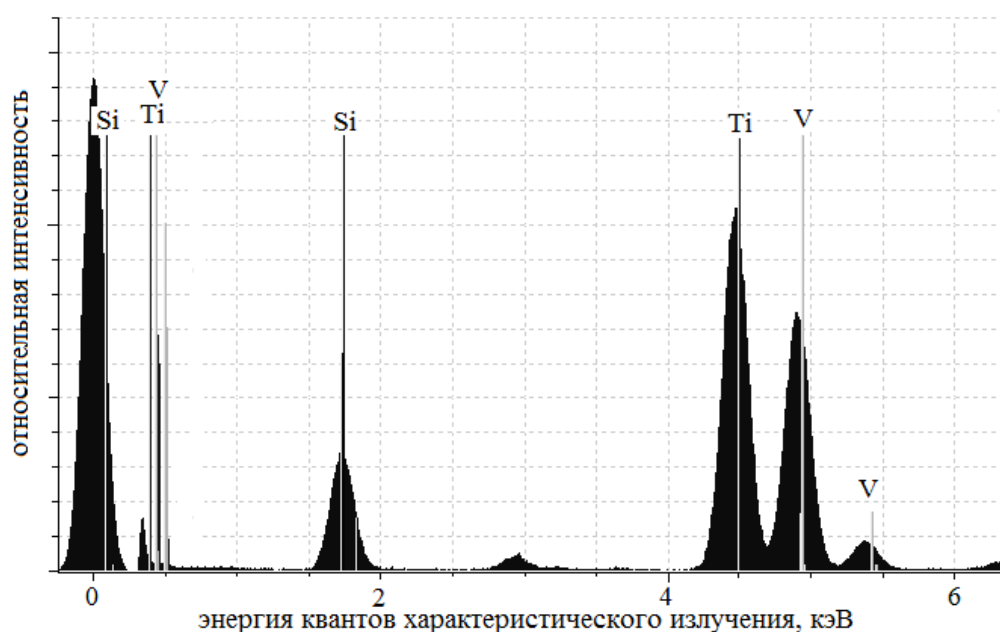
Методика получения образцов. Пленки состава $Ti_{70}V_{30}$ получали на установке УВН-2М методом магнетронного распыления составной и порошковой мишеней планарного типа. Рас-

пыление мишеней производилось при давлении аргона 0,66 Па. Плотность ионного тока варьировалась в интервале $10 \div 30$ мА/см² при напряжении магнетрона 350–500 В. Составная мишень была изготовлена из чистых металлов (Ti, V). Площади зон ионного распыления титана и ванадия на составной мишени определялись путем моделирования соответствующих атомарных потоков с учетом коэффициентов распыления и аккомодации в плазме аргона. Порошковая мишень представляла собой прессованную пористую пластину состава $Ti_{70}V_{30}$, изготовленную методами порошковой металлургии. Пленки осаждали на окисленные кремниевые монокристаллические подложки и подложки из стекла (марка К-8), которые являются базовыми конструкционными материалами технологии МЭМС. Предварительный разогрев подложек перед процессом распыления проводился с применением галогенных ламп до температуры 150 °С. В процессе осаждения геттерных пленок температура подложек поднималась не выше 200 °С. Толщина пленок контролировалась с помощью интерферометра Линника МИИ-4.

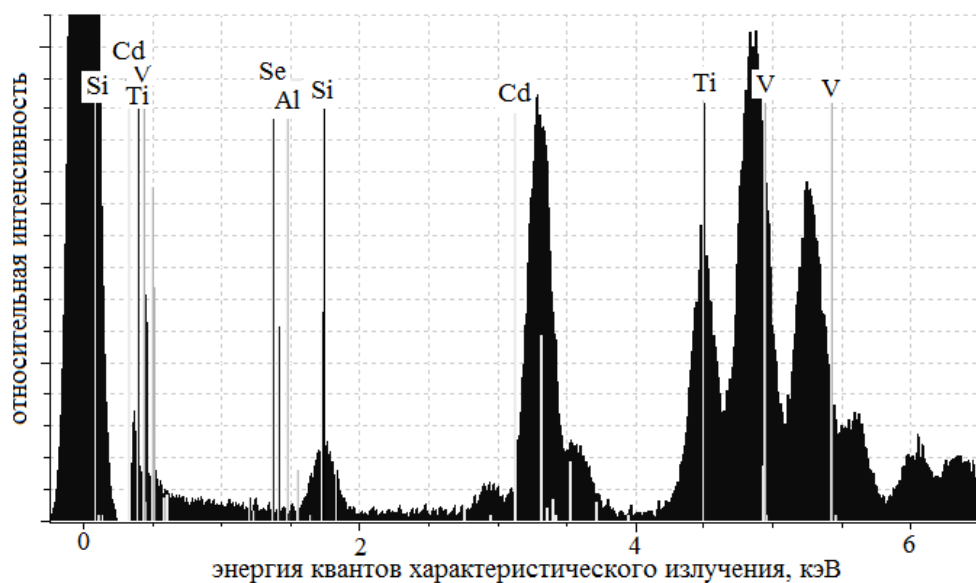
Результаты исследований и их обсуждение. Микроструктура полученных в работе пленок исследовалась методами световой (Latimet-20), атомно-силовой (Solver Pro EC, НТ-МДТ), ионной и электронной микроскопии (МРЭМ-200). Анализ фазового и химического состава пленок проводился на рентгеновском дифрактометре Дрон-6 и элементном флуоресцентном анализаторе Спектроскан Макс GV.

Ниже представлены результаты исследований, которые отражают характерные особенности морфологии и структуры плёнок, полученных магнетронным распылением двух типов мишеней при давлении аргона 0,66 Па, плотности ионного тока 30 мА/см² и напряжении 450 В. Толщина исследуемых плёнок – 0,4 мкм.

Обработка результатов анализа химического состава плёнок на элементном флуоресцентном анализаторе показала, что отклонение химического состава плёнок, полученных как на составной мишени, так и на порошковой, составляет не более 3 мол. % по титану и ванадию для всех исследуемых образцов. Следует отметить, что плёнки, полученные распылением порошковой мишени, характеризуются фоновым содержанием примесей. На рис. 1 представлены спектры рентгеновской флуоресценции для обоих типов плёнок. На спектрах образца, полученного распылением порошковой мишени, отмечается содержание кадмия и др.



а)



б)

Рис. 1. Спектры рентгеновской флуоресценции плёнки, полученной методом магнетронного распыления: а) составная мишень; б) порошковая мишень

На рис. 2 представлена дифрактограмма плёнки, полученной магнетронным распылением составной мишени. Анализ дифрактограмм указывает на то, что плёнка, вероятнее всего, представляет собой атомарный раствор ванадия на основе титана.

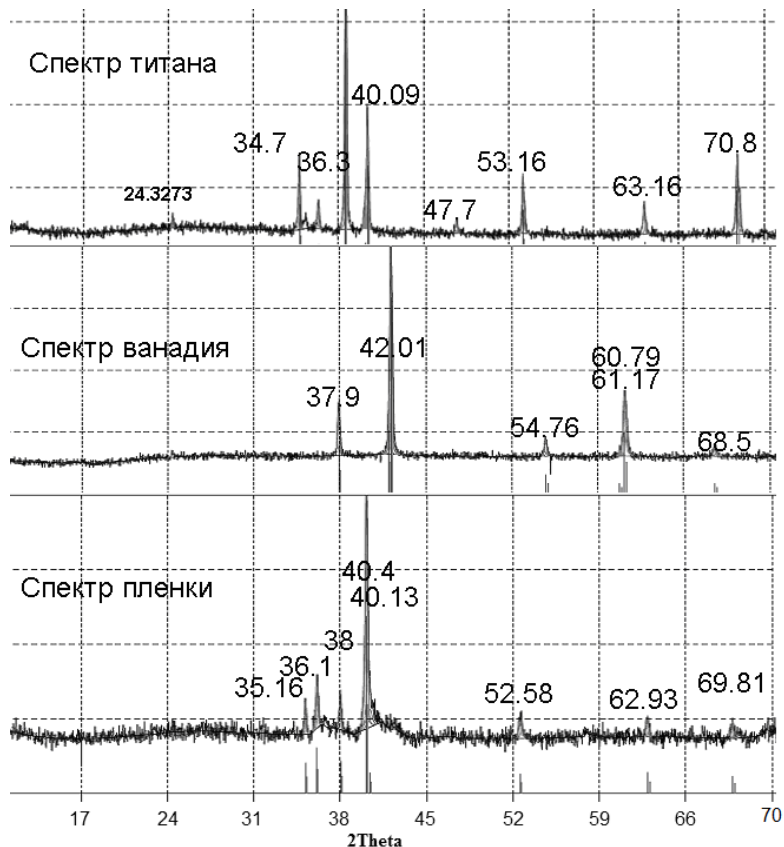


Рис. 2. Рентгеновские дифрактограммы чистых ванадия, титана и плёнки состава $Ti_{70}V_{30}$ (2Theta – угол вращения счетчика рентгеновских квантов)

Исследования рельефа и морфологических характеристик поверхности плёнок проводились методом атомно-силовой микроскопии с использованием микроскопа Solver Pro ЕС. Измерения проводились на воздухе при нормальных условиях в полуконтактном режиме. На рис. 3, 4 представлены двумерные (2D, I и II) и трехмерные 3D (III) изображения поверхности образцов с зонами сканирования 10x10, 2x2, 1x1 мкм. Как видно из представленных результатов, в обоих случаях плёнки являются выраженно гранулированными в нано-диапазоне; также это просматривается на изображениях излома плёнки, полученных с помощью ионной и электронной микроскопии (рис. 5а, б). Указанный характер микроструктуры сохраняется по всей толщине плёнок. Сами гранулы, как показывает анализ изображений, представляют собой фрактальные агрегаты.

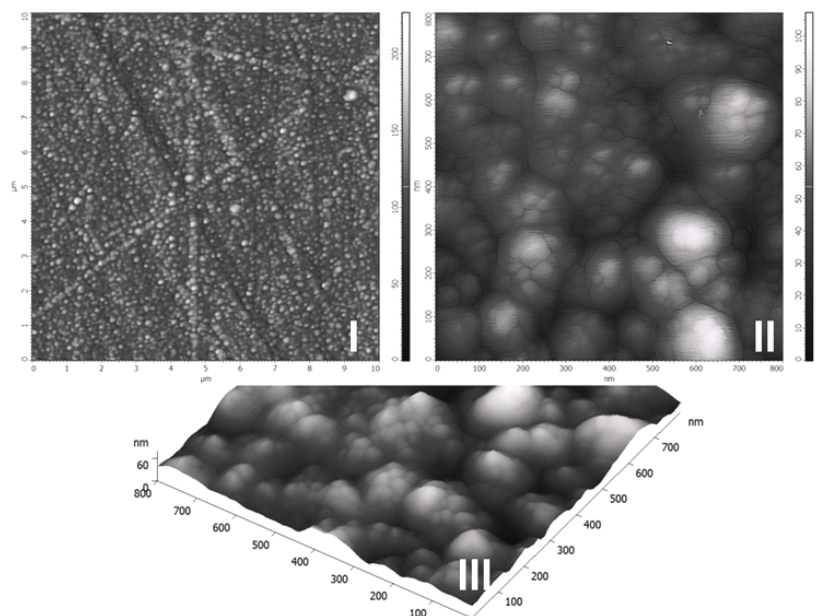


Рис. 3. 2D (I, II) и 3D (III) АСМ-изображения поверхности плёнок $Ti_{70}V_{30}$, полученных распылением составной мишени

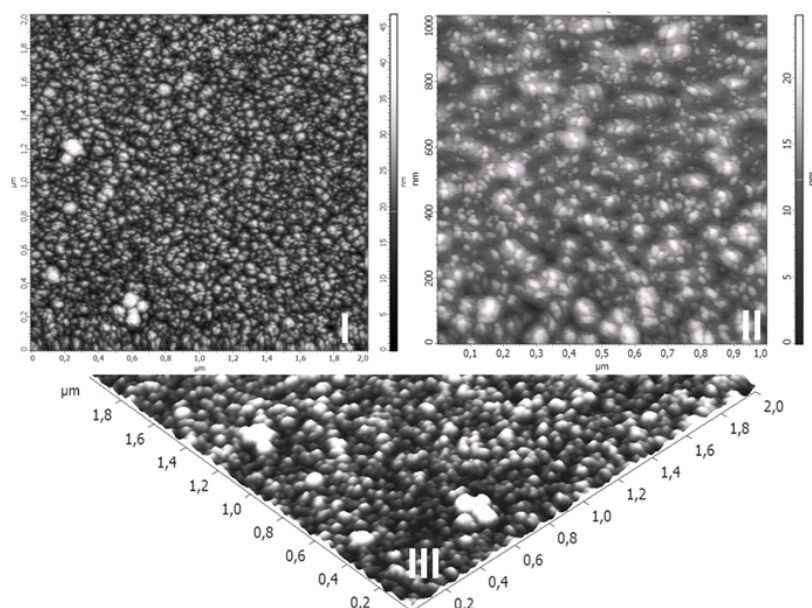


Рис. 4. 2D (I, II) и 3D (III) АСМ-изображения поверхности плёнок $Ti_{70}V_{30}$, полученных распылением порошковой мишени

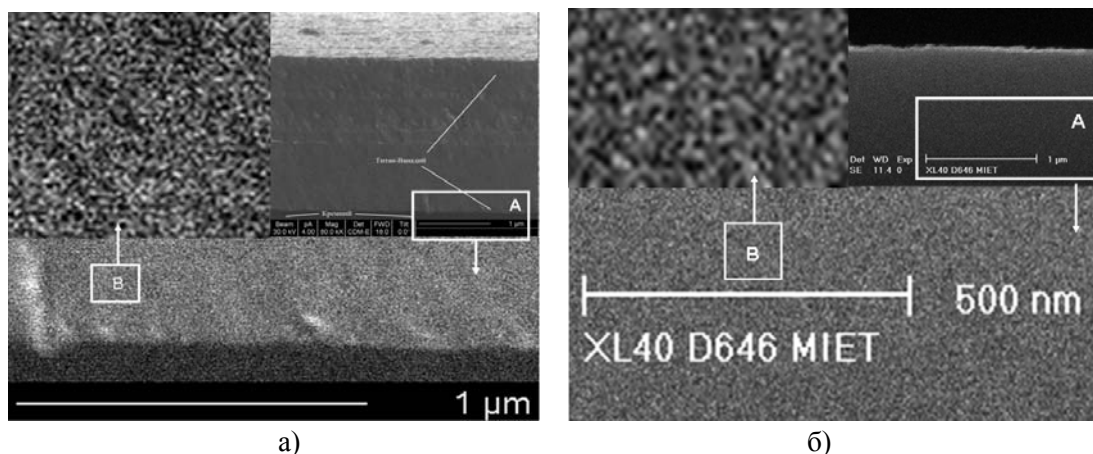


Рис. 5. Изображения на ионном (а) и электронном (б) микроскопах излома плёнки $Ti_{70}V_{30}$, полученной распылением составной мишени

С использованием программного пакета Nova были построены гистограммы распределения кристаллических зерен по характеристическому размеру (рис. 6а, б). Распределение на обоих типах плёнок носит двухмодальный характер. Характеристические размеры гранул плёнок, полученных распылением порошковой мишени, примерно одного порядка – 18 и 23 нм для каждой моды соответственно. Структура плёнок, полученных распылением составной мишени, характеризуется наличием двух типов гранул, характеристические размеры которых отличаются в два раза (рис. 6б): размер гранул, соответствующих первой моде – порядка 50 нм, второй моде – порядка 120 нм.

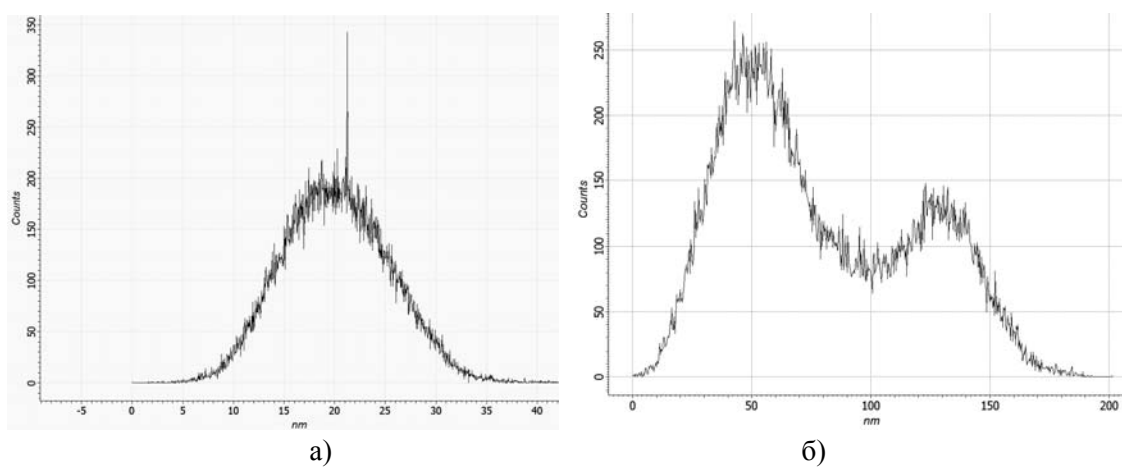


Рис. 6. Гистограммы распределения по размерам кристаллических зерен сплава на пленках состава $Ti_{70}V_{30}$, полученных методом магнетронного распыления:
а) порошковая мишень; б) составная мишень

В последнее время достаточно эффективно используется фрактальный подход к анализу морфологических особенностей технологических поверхностей [1–5]. Для определения фрактальной размерности пленочных структур используют различные аналитические и расчётные методы оценки. В работе для оценки фрактальных параметров мы использовали два подхода. Оценивалась фрактальная размерность профилограмм, описывающих профиль рельефа плёнок, и фрактальная размерность поверхности. Фрактальная размерность профилограмм оценивалась методом отрезков по методике, изложенной в [3], а фрактальная размерность поверхности рассчитывалась методом «площадь–периметр» по алгоритму, рекомендованному в работе [6].

Для оценки указанных фрактальных параметров анализировались АСМ-изображения поверхностей, представленные на рис. 7а, б (фрагмент I). Фрактальная размерность рельефа поверхности оценивалась по 10 профилограммам, полученным для каждой области сканирования. На рис. 7а, б (фрагмент II) приведены типичные профилограммы, описывающие рельеф пленки вдоль светлой линии на соответствующих АСМ-изображениях. Усредненные значения фрактальной размерности рельефа поверхности плёнок, полученных распылением составной и порошковой мишеней, составили $1,74 \pm 0,04$ и $1,56 \pm 0,05$ соответственно.

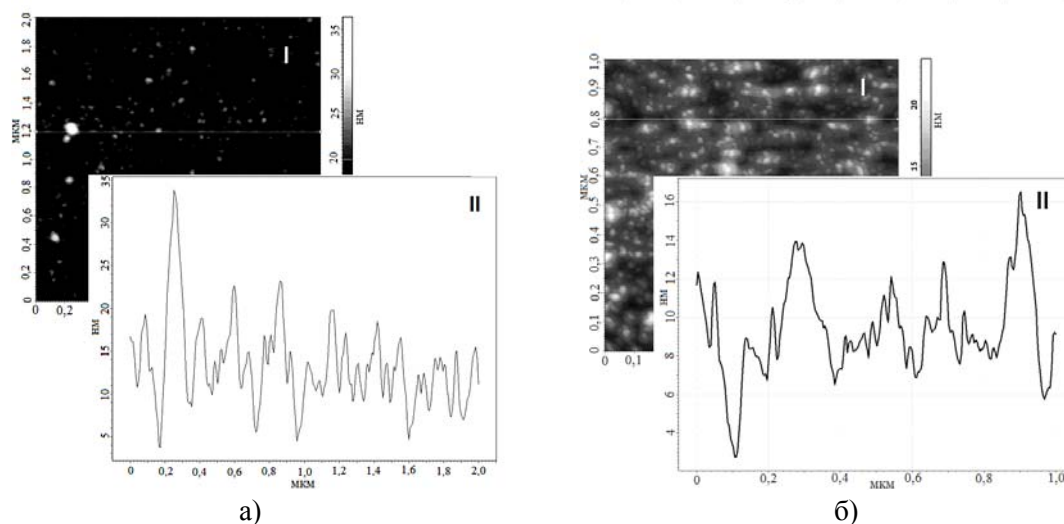


Рис. 7. Типовые профилограммы поверхности образцов пленок состава $Ti_{70}V_{30}$, полученных методом магнетронного распыления:
а) составная мишень; б) порошковая мишень

Оценка фрактальной размерности поверхности проводилась по результатам обработки 20 сечений плоскости поверхности плёнки параллельными плоскостями, проходящими по развитой рельефной части пленок. На рис. 8 приведены зависимости суммарной площади островков S от их периметра P для каждого сечения. Линейная зависимость этих параметров указывает на фрактальные свойства исследуемых поверхностей. Оценка фрактальной размерности дала значения $2,901 \pm 0,059$ и $2,721 \pm 0,104$ для плёнок, полученных распылением составной и порошковой мишеней соответственно, что говорит о высокоразвитой поверхности исследуемых газопоглощающих покрытий.

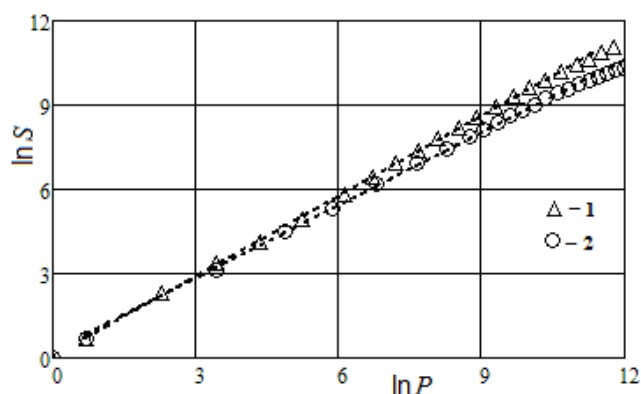


Рис. 8. Зависимость площади островков на поверхности от их периметра:
1 – составная мишень; 2 – порошковая мишень

Закключение. Результаты проведенных исследований указывают на то, что формирование объёма и поверхности плёнок происходит по фрактальному механизму. Полученные значения фрактальных характеристик свидетельствуют о высокой эффективной площади поверхности, что указывает на перспективность применения представленной технологии для формирования газопоглощающих покрытий при производстве МЭМС и других электронных устройств.

Авторы выражают благодарность А.А. Канаметову за помощь в проведении измерений на атомно-силовом микроскопе.

Библиография

1. Торхов Н.А., Божков В.Г., Ивонин И.В., Новиков В.А. Исследование свойств поверхности арсенида галлия методом атомно-силовой микроскопии // Физика и техника полупроводников. – 2009. – Т. 43. – Вып. 5. – С. 546–554.
2. Арутинов П.А., Толстихина А.Л., Демидов В.Н. Система параметров для анализа шероховатости микрорельефа поверхности материалов в сканирующей зондовой микроскопии // Заводская лаборатория. – 1999. – Т. 65, № 9. – С. 27–37.
3. Измеров М.А. Методы определения фрактальной размерности инженерных поверхностей // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2006. – № 3 (11).
4. Зынь В.И., Молчатский С.Л. Исследование фрактальной структуры поверхности полимерных плёнок стирола и октаметилтрисилоксана // Поверхность. – 1999. – № 4. – С. 66–70.
5. Шиляев П.А., Павлов Д.А., Хохлов А.Ф. и др. Связь фрактальной размерности и свойств поверхности поликристаллического кремния // Микросистемная техника. – 2003. – № 6. – С. 10–12.
6. Шиляев П.А., Павлов Д.А., Хохлов А.Ф. Методы расчета фрактальной размерности СЗМ изображений // Микросистемная техника. – 2004. – № 3. – С. 35–38.

ТЕМПЕРАТУРНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ И КИНЕТИКА ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ СВИНЦОВО-СИЛИКАТНОГО СТЕКЛА С87-2

З.В. Шомахов, О.А. Молоканов, С.К. Кулов, А.М. Кармоков

Экспериментально исследованы температурная зависимость и кинетика электропроводности свинцово-силикатного стекла С87-2. Получены значения энергии активации электропроводности в разных температурных диапазонах, соответствующих разным механизмам проводимости. Установлено влияние массопереноса под действием электрического поля на электропроводность. Проведены оценки времени установления фазового равновесия в структуре стекла в зависимости от температуры отжига.

The Experimental explored kinetics to conduction in leaden-silicate glass C87-2 at isothermal and polythermal annealing. The Experiments have shown that conduction depends on values missed electric charge and from the temperature annealing. The maked estimations of time of the determination of the balance in structure flow depending on the temperature annealing.

Введение

Свинцово-силикатные стекла широко используются в вакуумной электронной технике, в частности, в качестве вторично-электронных эмиттеров [1]. Формирование качественного вторично-эмиссионного слоя существенно зависит от термодинамических параметров и характеристик технологических процессов формирования эмиссионного слоя. При обработке стекла при различных термодинамических условиях (температура, время, среда и др.) обнаружено формирование наноразмерных кристаллических фаз в объеме и на поверхности образца [2–5]. Физико-химические процессы, происходящие в стекле, оказывают существенное влияние на электрофизические свойства и определяют важные для эксплуатации приборов применения характеристики (стабильность параметров, надежность, долговечность и др.). В связи с этим исследования влияния процессов фазообразования и кинетики роста новых фаз в стеклах, а также влияния пропускания электрического тока на проводимость стекла С87-2 является важной задачей. В настоящей работе изучено поведение удельной электропроводности свинцово-силикатного стекла С87-2, используемого для изготовления микроканальных пластин.

Методика эксперимента

Все исследованные образцы были изготовлены во Владикавказском технологическом центре «Баспик». Образцы представляли собой полированные диски диаметром 24,8 мм и толщиной 0,42 мм. На торцовую поверхность дисков нанесены хромовые электроды. На одной стороне диска находится общий сплошной электрод по всей площади диска, а на второй стороне – центральный измерительный электрод, который окружен охраняемым электродом кольцевой формы, исключающим вклад поверхностных токов в измеряемые проводимости.

Измерение электропроводности проводилось в процессе нагрева, изотермического отжига при определенной температуре и охлаждения образца. Эксперименты проводились при двух условиях. В первом случае – в течение всего времени эксперимента через образец пропускался электрический ток, во втором случае – для исключения влияния электропереноса пропускали знакопеременный электрический ток за короткий промежуток времени (~ 2 минуты на одно измерение).

В ходе изучения электропроводности образцы стекол подвергались высокотемпературному изотермическому отжигу. Каждый образец отжигался при одной из температур: 350, 400, 450 и 500 °С. Время отжига образцов во всех случаях составляло 5 часов.

Экспериментальные результаты

По результатам измерения электропроводности в процессе нагрева и охлаждения построены температурные зависимости электропроводности материала исследованных образцов, а по данным, полученным в ходе изотермической выдержки, получены кинетические зависимости электропроводности.

Электропроводность стекол имеет активационный характер, и можно ожидать, что зависимость логарифма обратного сопротивления от обратной температуры будет линейной [6]. На рис. 1 представлены в координатах Арениуса температурные зависимости удельной электропроводности стекла С87-2, полученные при трех последовательных нагревах образца. Для каждого цикла нагрева на графике выделяются две линейные области, соответствующие низким и высоким температурам. При повторных нагревах, по сравнению с первым, наблюдается увеличение электропроводности на низкотемпературном участке зависимости, причем наклон аппроксимирующей линии, который характеризует энергию активации проводимости, при втором и третьем нагреве меньше, чем при первом. На высокотемпературном участке изменения значений электропроводности во втором и третьем циклах не наблюдается.

При первом нагреве в низкотемпературной области энергия активации проводимости составляет 0,047 эВ, а при повторных нагревах – уменьшается до 0,036 эВ. В высокотемпературной области для всех трех циклов энергия активации проводимости составляет 1,49 эВ.

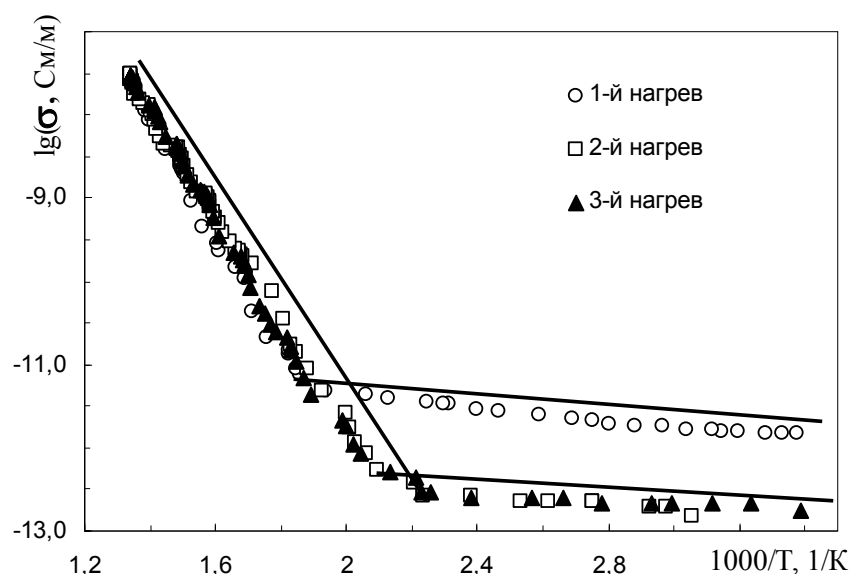


Рис. 1. Температурная зависимость удельной электропроводности стекла С87-2 в процессе трех последовательных нагревов от комнатной температуры до 450 °С

Различие величины электропроводности и энергии ее активации между первым и последующими нагревами легко может быть объяснено процессами образования и роста новых фаз при первом отжиге [7, 8]. Эти фазы характеризуются разнообразием их состава, а также нано- и даже субнанометровыми размерами. С целью выявления особенностей процесса фазообразования был проведен анализ фазового состава исследованных стекол после отжига в различных термодинамических условиях. Исследования выполнялись на рентгеновском дифрактометре ДРОН-6. Для всех образцов дифрактограммы снимались в диапазоне углов рассеяния 2θ от 6 до

75° (соответствующие межплоскостные расстояния в кристаллических структурах от 1,47 до 0,127 нм) [9, 10].

На рис. 2 представлены кинетические кривые электропроводности стекла С87-2, полученные при изотермическом отжиге в вакууме при температурах 350, 400, 450 и 500 °С. Как видно из рисунка, при постоянном пропускании электрического тока проводимость стекла при всех температурах отжига со временем уменьшается.

Полученные экспериментальные зависимости $\sigma(t)$ для указанных температур изотермической выдержки стекла с хорошей достоверностью аппроксимируются квадратичной зависимостью вида at^2+bt+c :

$$\sigma=7,0\cdot 10^{-9}t^2-5,0\cdot 10^{-8}t+1\cdot 10^{-7} \text{ для } 500\text{ }^{\circ}\text{C}, \quad (1)$$

$$\sigma=6,6\cdot 10^{-9}t^2-5,3\cdot 10^{-8}t+1\cdot 10^{-7} \text{ для } 450\text{ }^{\circ}\text{C}, \quad (2)$$

$$\sigma=4,0\cdot 10^{-9}t^2-5,0\cdot 10^{-8}t+2\cdot 10^{-7} \text{ для } 400\text{ }^{\circ}\text{C}, \quad (3)$$

$$\sigma=6,0\cdot 10^{-13}t^2-7,0\cdot 10^{-12}t+7\cdot 10^{-11} \text{ для } 350\text{ }^{\circ}\text{C}, \quad (4)$$

$$\sigma=-2,0\cdot 10^{-9}t^2+1,0\cdot 10^{-8}t+4\cdot 10^{-8} \text{ для } 450\text{ }^{\circ}\text{C}, \quad (5)$$

где σ измеряется в сименсах на метр, а t – в часах.

Для всех случаев непрерывного пропускания тока коэффициенты $a>0$, а $b<0$, и рассматриваемые зависимости имеют монотонно убывающий характер. При знакопеременном пропускании тока через стекло, наоборот, $a<0$, а $b>0$, и проводимость от времени отжига монотонно возрастает.

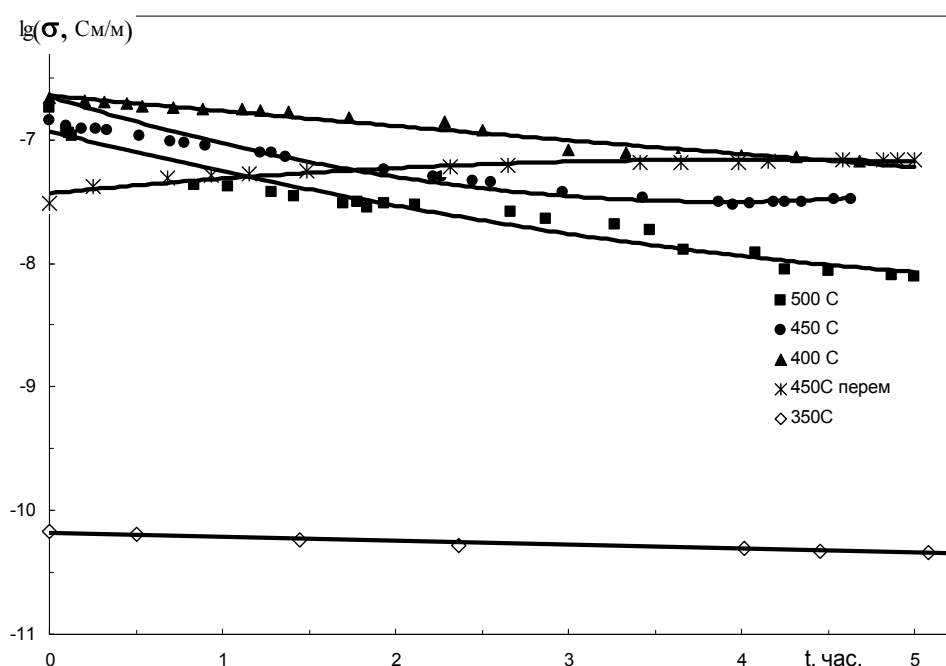


Рис. 2. Зависимость электропроводности от времени изотермического отжига в вакууме для образцов невосстановленного стекла С87-2 при различных температурах и непрерывном пропускании тока, а также при знакопеременном токе и температуре 450 °С

Сравнение двух кривых, полученных при температуре 450 °С для постоянного и знакопеременного тока, показывает, что в процессе нагрева до температуры отжига с непрерывным пропусканием тока проводимость стекла возрастает, причем на один порядок вели-

чины больше, чем соответствующее возрастание для случая знакопеременного тока. В процессе отжига при постоянном пропускании тока проводимость уменьшается на $\sim 1,5$ порядка величины, а при знакопеременном пропускании тока, наоборот, увеличивается на $\sim 0,5$ порядка. При постоянном пропускании тока количество электричества, прошедшего через образец, составляло $5,6 \times 10^{-2}$ Кл. Этот факт указывает на то, что при постоянном пропускании электрического тока электроперенос оказывает существенное влияние на проводимость и на структуру стекла [1]. Рентгеноструктурные исследования также подтверждают этот факт.

В процессе изотермического отжига удельная проводимость стекла увеличивается тем интенсивнее, чем выше температура отжига (рис. 2). Уровень проводимости стекла при высокой температуре (500°C) стремится к $\sim 10^{-8}$ См/м. Обращает на себя внимание тот факт, что проводимость кристаллического кварца при 400°C составляет $\sim 10^{-8}$ См/м. Возможно, что именно растущие наноразмерные кристаллы диоксида кремния, зафиксированные на рентгенограммах, определяют конечный уровень проводимости.

Используя уравнения аппроксимации (1)–(5), определили времена отжига, при которых проводимость со временем больше не изменяется. Это означает, что структура стекла приходит в равновесное состояние. Для этого, дифференцируя уравнения (1)–(4) по времени и минимизируя, получим соотношение в виде:

$$d\sigma/dt = 2at - b = 0,$$

откуда

$$t = b/2a. \quad (6)$$

Таким образом, подставляя в последнее уравнение значения коэффициентов a и b из уравнений (1)–(4), получим время установления равновесия в структуре стекла С87-02 в зависимости от температуры отжига (рис. 3).

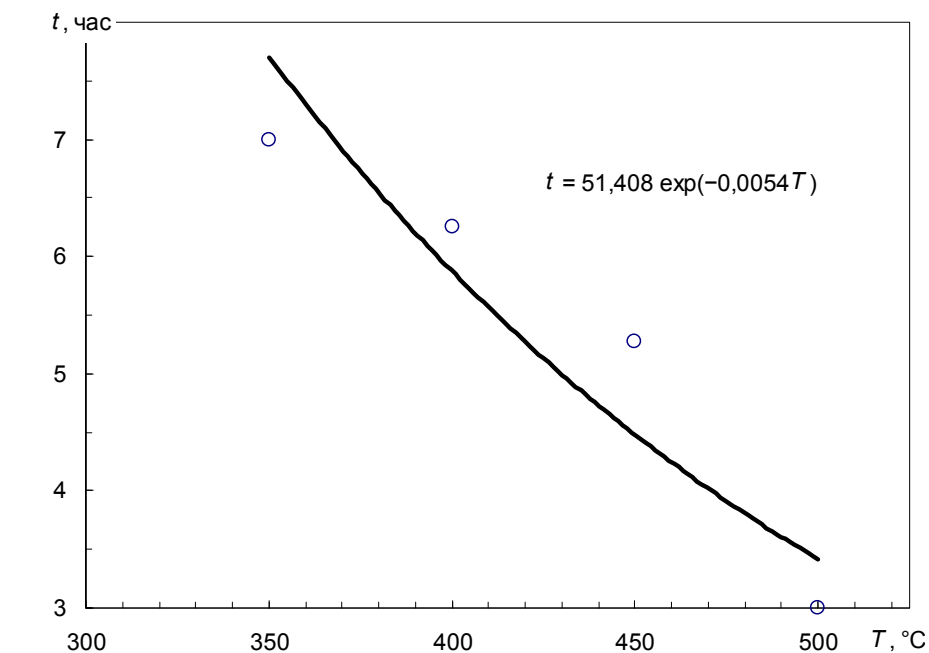


Рис. 3. Зависимость времени достижения фазового равновесия (релаксации) в стекле С87-2 от температуры отжига

Как видно из рисунка, время установления равновесия в структуре стекла сильно зависит от температуры отжига, и эта зависимость для стекла С87-2 аппроксимируется уравнением:

$$t=51\exp(-0,0054T).$$

Подставляя в это уравнение значение температуры изотермического отжига, можно найти оптимальное время, необходимое для полной релаксации стекла при данной температуре при постоянном пропускании тока через образец.

На рис. 4. представлена зависимость $d\sigma/dt$ от времени отжига при различных температурах.

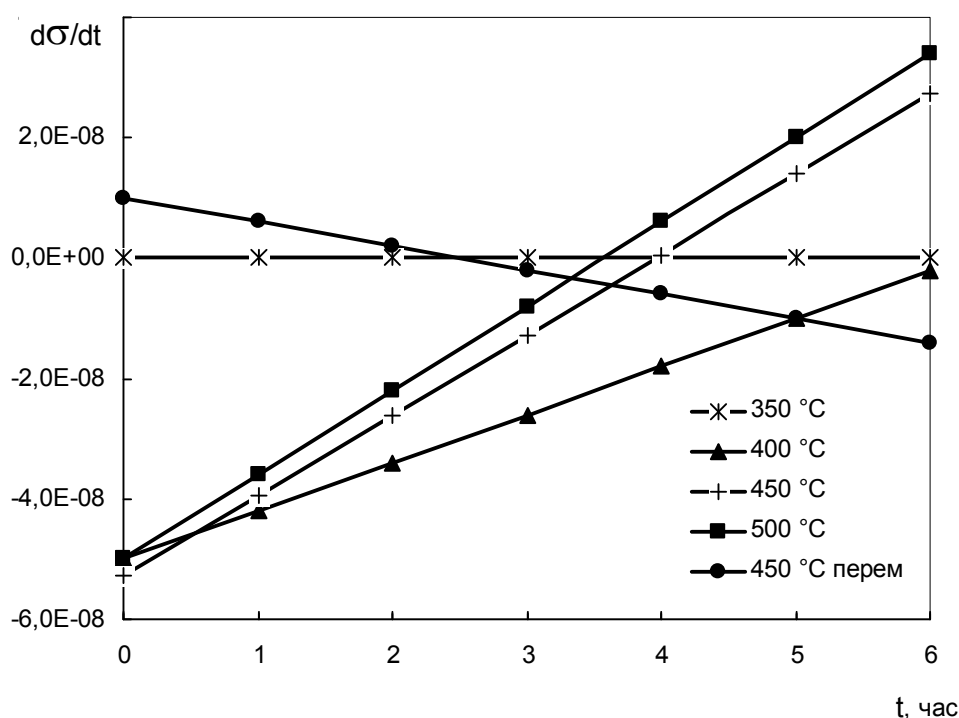


Рис. 4. Скорость изменения проводимости стекла С 87-2 в процессе изотермического отжига при различных температурах и непрерывном пропускании тока, а также при температуре 450 °С и знакопеременном токе

Как видно из рисунка, при непрерывном пропускании тока с повышением температуры отжига скорость изменения проводимости возрастает, и, как и следовало ожидать, $d\sigma/dt$ имеет максимальное значение при температуре 500 °С. При знакопеременном пропускании тока, наоборот, скорость изменения проводимости уменьшается.

Наклон полученных линий показывает интенсивность изменения скорости (рис. 5). Как видно из рисунка, при температурах 450 и 500 °С интенсивность изменения скорости выравнивается, т.е. в интервале этих температур изменения проводимости имеют максимальное значение и мало отличаются.

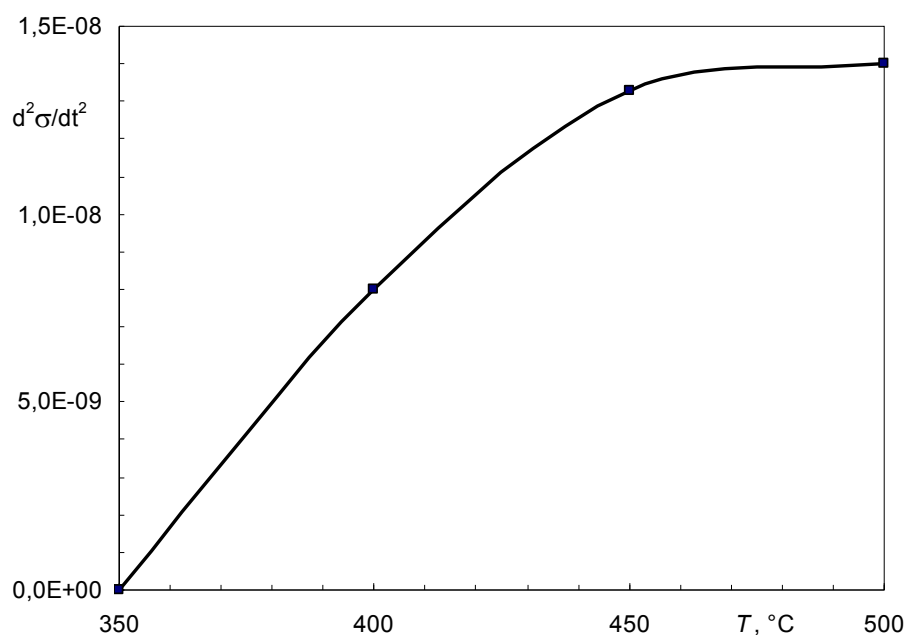


Рис. 5. Изменение интенсивности увеличения проводимости с повышением температуры отжига стекла С87-2

Сравнивая изменение энергии активации проводимости стекол со временем релаксации при различных температурах отжига, можно предположить, что энергия активации проводимости будет изменяться со временем по такому же закону.

Выводы

1. Реализована методика исследования кинетики электропроводности в свинцово-силикатном стекле С87-2 при изотермическом отжиге.
2. При низких температурах отжига (350–400 °C) скорости изменения проводимости близки к нулю. С течением времени изотермического отжига удельная проводимость этих стекол уменьшается тем интенсивнее, чем выше температура отжига.
3. Построена зависимость времени установления равновесия в структуре стекла от температуры отжига.

Библиография

1. Кулов С.К. Микроканальные пластины. – Владикавказ: Северо-Кавказский технологический университет, 2001. – 86 с.
2. Андреев Н.С., Мазурин О.В., Порай-Кошиц Е.А. Явление ликвации в стеклах / под ред. М.М. Шульца. – Л.: Наука. 1974. – 220 с.
3. McMillan P.W. Glass-ceramics. – London: UK, Academic Press, 1979.
4. Слезов В.В., Сагалович В.В. // УФН. – 1987. – Т. 151, № 1. С. 67–104.
5. Алексеева И.П., Атонен О.В., Голубков В.В. // Физика и химия стекла. – 2007. – Т. 33, № 1. – С. 3–11.
6. Anderson O.L. and Stuart D.A. . Calculation of Activation Energy of Ionic Conductivity in Silica Glasses by Classical Methods. Journal of The American Ceramic Society. –Anderson and Stuart. December 1954. – Vol. 37, № 12. – P. 573–580.

7. Кармоков А.М., Кулов С.К., Молоканов О.А., Шомахов З. В. // IX Международная научная конференция. Химия твердого тела: монокристаллы, наноматериалы, нанотехнологии. – Кисловодск–Ставрополь: СевКавГТУ, 2009. – С. 202–203.
8. Кулов С.К., Кармоков А.М., Молоканов О.А. // Известия Российской академии наук. Серия физическая. – 2009. – Т. 73, № 11. – С. 1649–1651.
9. Свергун Д.И., Фейгин Л.А. Рентгеновское и нейтронное малоугловое рассеяния. – М.: Наука, 1986. – 279 с.
10. Филиппович В.Н. // ЖТФ. – 1956. – Т. 26, № 2. – С. 398–416.
11. Шелби Дж. Структура, свойства и технология стекла. – М.: Мир, 2006. – 288 с.

УДК 544.18:544.182.24:544.144:544.142.3

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ СОЛЬВАТАЦИИ ИОНОВ La(III) и Lu(III) В ХЛОРИДНЫХ РАСПЛАВАХ ПО ДАННЫМ *AB INITIO* РАСЧЕТОВ

В.Ю. Бузько, Г.Ю. Чуйко, Х.Б. Кушхов

Методами ab initio в приближении неэмпирических методов Хартри – Фока и MP2 изучены структурные и энергетические характеристики комплексов $\text{LnCl}_n^{(3-n)+}$ ($\text{Ln} = \text{La}$ и Lu , $n=1-8$), существующих в хлоридных расплавах La(III) и Lu(III).

By ab initio methods with nonempirical Hartree – Fock approximation methods and by the MP2 method the structural and energy characteristics of complexes $\text{LnCl}_n^{(3-n)+}$ ($\text{Ln} = \text{La}$ и Lu , $n=1-8$), in chloride melts La (III) and Lu (III) was studied.

Понимание особенностей сольватационного поведения ионов лантаноидов в хлоридных расплавах предоставляет основу для описания и предсказания особенностей спектроскопического [1–3], электрохимического [4, 5] и термодинамического [4, 6, 7] поведения их металло-комплексов. Изучение сольватационных взаимодействий с участием иона лантаноидов (III) в хлоридных расплавах представляет собой важную задачу ввиду важной роли пирохимических процессов для развития нового поколения трансмутационных ядерных реакторов для переработки плутония и нептуния [8–10], улучшенных пирохимических технологий переработки высоко-радиоактивных ядерных отходов [11–14] и получения чистых металлических РЗЭ [15]. Практические успехи в разделении лантаноидов в эвтектических расплавах хлоридов, достигнутые в последние годы [16–18], предполагают необходимость дальнейших исследований особенностей сольватационного поведения ионов лантаноидов в хлоридных расплавах.

Возросшие в последние годы функциональные возможности квантово-химических программных пакетов и вычислительных ресурсов, находящихся в распоряжении исследовательских групп, позволяют на сегодняшний день априорно описывать сольватационные взаимодействия с участием РЗЭ в конденсированных средах исходя из разнообразных теоретических и практических интересов. Следует отметить, что квантово-химические расчеты галогенидных комплексов лантаноидов [19–23] позволяют заметно расширить имеющиеся теоретические представления об особенностях образования химических связей в соединениях 4f-элементов.

Координационные числа иона La(III) в хлоридных расплавах изучались различными экспериментальными методами, включая метод рентгеновской (XRD) [24–25] и нейтронной дифракции (ND) [26], а также метод тонкой структуры рентгеновского поглощения (XAFS) [25, 27].

Результаты метода рентгеновской дифракции для расплавленного LaCl_3 , приводимые разными авторами, дают различные оценки числа хлорид-ионов в первой координационной сфере сольватированного иона La(III). По данным работы [24], координационное число иона La(III) в расплаве его хлорида при 1150 К составляет 7.1 при среднем расстоянии La–Cl, равном 2.85 Å, а по данным работы [25], для 1173 К соответственно 6.2 и 2.82 Å.

В свою очередь, ND-результаты предсказывают координационное число иона La(III) в расплаве его хлорида при 1150 К равным 8.2 [26], тогда как XAFS-исследование [27] дает оценку 7.4, а по данным работы [25] соответственно 7.12.

Эти результаты также отличаются от результатов, полученных ранее в работах [2, 28] спектроскопией комбинационного рассеяния и интерпретированных как преобладание в расплавах LaCl_3 высокосимметричных октаэдрических комплексов LaCl_6^{3-} и фрагментов пространственных сеток, образованных ими.

В работе [29] показано, что спектр КР расплавленного LaCl_3 , который традиционно интерпретируется в рамках преобладающей роли октаэдрических комплексов LaCl_6^{3-} , может быть успешно воспроизведен посредством МД-расчетов с поляризуемыми потенциалами взаимодействий для системы с преобладанием комплексов LaCl_7^{4-} и LaCl_8^{5-} . Дальнейшее более подробное модельное изучение Рамановских спектральных особенностей расплавленных смесей LaCl_3 – NaCl и LaCl_3 – CsCl , представленное в работе [3], показало, что для жидкого состояния расплавленного LaCl_3 при 1300 К невозможно сделать адекватный вывод о текущем координационном числе на основе анализа КР-спектров. Причиной этого является схожесть молекулярных движений для комплекса LaCl_6^{3-} и его высших последователей LaCl_7^{4-} и LaCl_8^{5-} , что в свою очередь приводит к суперпозиции колебательных частот, уширениям спектральных линий и невозможности разделения их друг от друга. На основании МД-расчетов с обновленными поляризуемыми потенциалами установлено, что для жидкого LaCl_3 при 1300 К среднее координационное число лантана по отношению к хлору составляет 7.61 [3]. Это свидетельствует о преобладающей роли комплексов LaCl_7^{4-} и LaCl_8^{5-} в расплавленном LaCl_3 .

При 300 К данные метода XAFS для кристаллического LaCl_3 [25] показывают наличие двух групп связей $\text{La}-\text{Cl}$: 6 коротких с расстоянием $\text{La}-\text{O}$ 2.78 ± 0.01 Å и 3 длинных с расстоянием $\text{La}-\text{O}$ 3.05 ± 0.01 Å, характерных для структуры с тригранецентрированной тригональной призмой с двумя группами неэквивалентных ионов хлора. Результаты XAFS для кристаллического LaCl_3 при 673 К показывают среднее координационное число иона La(III) 8.03 со средним расстоянием $\text{La}-\text{Cl}$ 2.79 ± 0.01 Å, на основании чего авторами [25] сделан вывод, что при переходе от кристаллического к жидкому состоянию для LaCl_3 наблюдается непрерывное изменение локальной структуры с постоянным уменьшением координационного числа при переходе к предельному случаю наиболее плотно-упакованного хлорокомплекса LaCl_6^{3-} .

Изучение особенностей электрохимического поведения иона лантана (III) в эвтектических расплавах $\text{LiCl}-\text{KCl}$ [5] привело к выводу о преобладающей роли хлорокомплекса LaCl_6^{3-} в процессах электровосстановления иона La(III) в хлоридных расплавах. Эти выводы были подтверждены результатами последующих МД-расчетов локальной структуры модельного расплава LaCl_3 – 3KCl при 1123 К [30]. Тем не менее, было указано, что хлорокомплексы LaCl_6^{3-} образуют непрерывную сетку расплава с периодическими искажениями и дисторсиями, что предполагает наличие и других ассоциативных форм.

Ранние МД-расчеты локальной структуры расплавленного LaCl_3 при 1150 К с потенциалами взаимодействий в рамках поляризуемой ионной модели [31] показали среднее координационное число иона La(III) 7.3 со средним расстоянием $\text{La}-\text{Cl}$ 2.84 Å. Более поздние МД-расчеты локальной структуры расплавленного LaCl_3 при 1150 К с потенциалами взаимодействий в рамках как жесткой ионной модели, так и поляризуемой ионной модели [24] предсказывают среднее координационное число иона La(III) в расплаве его хлорида 7.5, что является свидетельством преобладания комплексов LaCl_7^{4-} и LaCl_8^{5-} в данной системе.

Недавние МД-расчеты поведения иона La(III) в стехиометрической смеси $\text{KCl}-\text{LiCl}$ при 1096 К [32] показали, что для иона La(III) в изученной системе характерно координационное число, равное 6.3 при соответствующем гидродинамическом радиусе иона La(III) в 3.32 Å.

Структурные аспекты поведения иона лютетия (III) в хлоридных расплавах не изучены. Анализ имеющихся экспериментальных данных по электрохимическим и диффузионным характеристикам иона лютетия в расплавах хлоридов привел авторов работы [33] к выводу о преобладании симметричных хлорокомплексов LuCl_6^{3-} в Lu -содержащих хлоридных расплавах. Результаты недавней работы [34], в которой экспериментально изучена самодиффузия иона лютетия в расплаве эвтектики $\text{LiCl}-\text{KCl}$ и определена энергия самодиффузии 31.5 ± 1.3 кДж/моль при сравне-

нии с известными энергиями самодиффузии для трехзарядных ионов La-Eu в расплаве эвтектики LiCl-KCl [35], также приводят к мысли о сходстве составов преобладающих комплексных частиц, существующих в системах $\text{LnCl}_3\text{-KCl-LiCl}$.

Таким образом, на основании вышесказанного следует, что структурные особенности сольватации иона La(III) в хлоридных расплавах остаются до сих пор неясными, а поведение иона Lu(III) в хлоридных расплавах практически не изучено. Для решения этой проблемы нами проведены квантово-химические расчеты структуры и устойчивости серии хлорокомплексов иона лантана (III) и лютеция (III), поскольку такие примеры в литературе практически отсутствуют. Следует отметить, что изучение структуры и устойчивости комплексов $\text{LnCl}_n^{(3-n)+}$ ($\text{Ln} = \text{La}$ и Lu , $n=1-8$) методами *ab initio* представляет несомненный интерес в имеющемся сложном случае, когда различные экспериментальные методы дают противоречивые результаты.

Экспериментальная часть

Нами использованы методы Хартри – Фока в ограниченном по спину приближении и теория возмущений Меллера – Плессета второго порядка в полном базисном пространстве (MP2(Full)) для изучения структуры и устойчивости хлорокомплексов ионов лантана (III) и лютеция (III) с общей формулой $\text{LnCl}_n^{(3-n)+}$ ($\text{LnCl}_n^{(3-n)+}$ ($\text{Ln} = \text{La}$ и Lu , $n=1-8$). Отметим, что для металлокомплексов с закрытой оболочкой метод MP2 считается одним из наиболее точных для расчета структурных, термодинамических и кинетических характеристик [36].

Все расчеты выполнены с использованием квантово-химического пакета GAUSSIAN-2003 [37]. Оптимизация молекулярной геометрии комплексов $\text{LnCl}_n^{(3-n)+}$ ($\text{LnCl}_n^{(3-n)+}$ ($\text{Ln} = \text{La}$ и Lu , $n=1-8$)) выполнена в газофазных условиях, без каких-либо ограничений по симметрии или в геометрических характеристиках. Принадлежность полученных структур истинным минимумам на поверхности потенциальной энергии подтверждалась через отсутствие отрицательных величин в компонентах гессиана [38].

Расчеты проведены с использованием экономичного в отношении затрат машинного времени эффективного остоного потенциала CEP-31G и соответствующего дубль-зета качества базисного набора [39]. Ранее нами установлено [40], что при расчете хлорокомплексов этот популярный квазирелятивистский эффективный остоный потенциал для атома лантана практически не уступает по качеству более ресурсоемкому эффективному остоному потенциалу LANL2DZ [41]. Используемый квазирелятивистский CEP-31G псевдопотенциал в явном виде учитывает одноэлектронные скалярные релятивистские эффекты, без учета спин-орбитальных эффектов, которые невелики для закрытооболочечной электронной системы соединений La(III) и Lu(III) [39].

Известно, что для адекватного расчета структурных и энергетических характеристик га-логенидных комплексов трехзарядных ионов лантаноидов, характеризующихся сильной поляризацией молекул лиганда, необходимо использование, по крайней мере, валентного дубль-зета качества базисного набора для атомов лиганда с использованием поляризационных функций [14, 42]. Поэтому в сопряжении с эффективным остоным потенциалом CEP-31G использовался конвенционально входящий в схему релятивистских псевдопотенциалов семейства CEP валентный дубль-зета базисный набор [43] с одной поляризационной экспонентой для атома хлора, равной 0.75 [44].

В представленной работе учет спин-орбитальных эффектов не производился, поскольку считается [36], что они невелики для электронных систем тяжелых металлов с закрытыми оболочками и в определенной мере учитываются использованием квазирелятивистских эффективных остоных потенциалов.

Результаты и их обсуждение

Предварительно мы изучили максимально координированные структуры хлорокомплексов лантана и лютеция и обнаружили, что максимально возможное число ионов хлора в первой

координационной сфере иона La(III) и Lu(III) есть восемь, и добавленный девятый анион хлора во время расчета мигрирует из первой координационной сферы во вторую. Поэтому можно считать, что в хлоридных расплавах солей лантана (III) и лютеция (III) максимально координированными в пределах первой координационной сферы структурами будут являться семи- и восьмикоординированные комплексы состава LnCl_7^{4-} и LnCl_8^{5-} ($\text{Ln} = \text{La}$ или Lu).

Симметрия и пространственные характеристики изученных комплексов $\text{LnCl}_n^{(3-n)+}$ ($\text{Ln} = \text{La}$ или Lu) на основании выполненных расчетов приведены в табл. 1. Структуры высших изученных комплексов $\text{LnCl}_n^{(3-n)+}$ ($\text{Ln} = \text{La}$ или Lu) представлены на рис. 1.

Таблица 1

Структурные характеристики комплексов $\text{LnCl}_n^{(3-n)+}$ ($\text{Ln} = \text{La}$ или Lu)
на основании проведенных неэмпирических расчетов

структура	симметрия	тип молекулы	структура	симметрия	тип молекулы
LnCl^{2+}	$C_{\infty V}$	линейная	LnCl_5^{2-}	D_{3h}	тригональная бипирамида
LnCl_2^+	C_{2v}	угловая	LnCl_6^{3-}	O_h	октаэдрическая
LnCl_3	D_{3h}	плоская	LnCl_7^{4-}	D_{5h}	пентагональная бипирамида
LnCl_4^-	T_d	тетраэдрическая	LnCl_8^{5-}	D_{4d}	квадратная антипризма

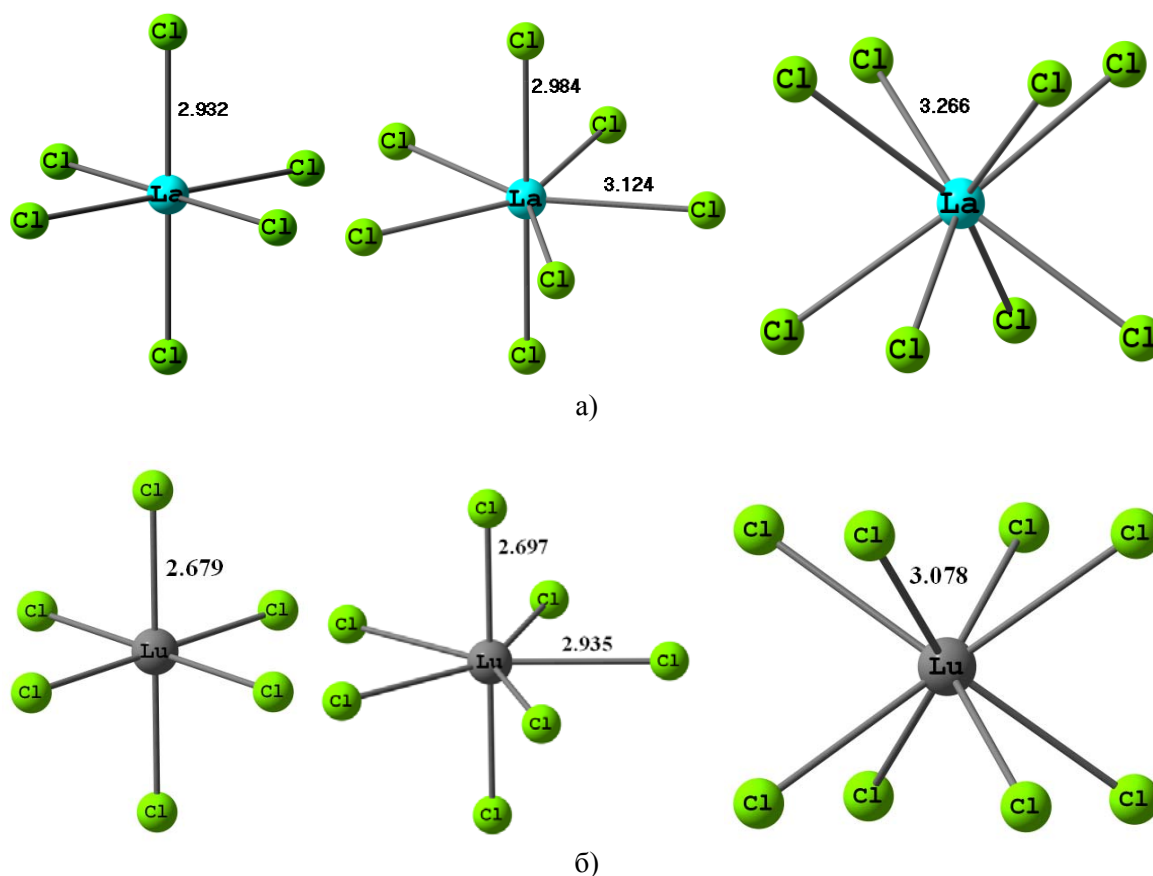


Рис. 1. Оптимизированные методом MP2(Full) структуры комплексов (расстояния Ln–Cl приведены в Å): а) LaCl_6^{3-} , LaCl_7^{4-} и LaCl_8^{5-} ; б) LuCl_6^{3-} , LuCl_7^{4-} и LuCl_8^{5-} .

Энергия связывания для изученных хлорокомплексов $\text{LnCl}_n^{(3-n)+}$ определялась в кластерном приближении для реакции: $\text{Ln}^{3+} + n\text{Cl}^- \leftrightarrow \text{LnCl}_n^{(3-n)+}$ по следующей формуле:

$$E_{\text{св}} = E[\text{LnCl}_n]^{(3-n)+} + E(\text{Ln}^{3+}) - n \cdot E(\text{Cl}^-).$$

Основная информация об энергии связывания $E_{\text{св}}$, расстояниях $\text{Ln}-\text{Cl}$ (Å), маллиkenовских зарядах на атомах лантаноида δLn (ē) в комплексах $\text{LnCl}_n^{(3-n)+}$ ($\text{Ln} = \text{La}$ или Lu , $n=1-8$) и величина вклада электронной корреляции $E_{\text{св}}(\text{MP2})-E_{\text{св}}(\text{RHF})$ в устойчивость комплекса, полученная методами MP2(Full) и RHF, представлена в табл. 2.

Таблица 2

Энергии связывания ($E_{\text{св}}$), расстояние $\text{Ln}-\text{Cl}$ (Å) ($\text{Ln} = \text{La}$ или Lu), маллиkenовский заряд на атоме лантаноида δLn (ē) в комплексах $\text{LnCl}_n^{(3-n)+}$ ($n=1-8$), полученные методом MP2(Full), и величина вклада электронной корреляции $E_{\text{св}}(\text{MP2}) - E_{\text{св}}(\text{RHF})$ в устойчивость комплекса

структура	лантаноид	$E_{\text{св}}$, ккал/моль	$R(\text{Ln}-\text{Cl})$, Å	δLn , (ē)	$E_{\text{св}}(\text{MP2})-E_{\text{св}}(\text{RHF})$, ккал/моль
LnCl^{2+}	La	-442.39	2.462	2.187	-20.00
	Lu	-575.49	2.248	1.984	-76.28
LnCl_2^+	La	-733.13	2.548	1.777	-29.56
	Lu	-972.01	2.366	1.506	-152.56
LnCl_3	La	-918.47	2.647	1.613	-34.44
	Lu	-1262.37	2.404	1.260	-228.84
LnCl_4^-	La	-1012.01	2.717	1.499	-39.46
	Lu	-1437.20	2.468	1.172	-305.12
LnCl_5^{2-}	La	-998.44	3x2.802 2x2.852	1.372	-43.82
	Lu	-1486.83	3x2.559 2x2.599	1.299	-381.40
LnCl_6^{3-}	La	-911.02	2.930	1.334	-47.41
	Lu	-1457.24	2.679	1.415	-457.68
LnCl_7^{4-}	La	-727.33	2x2.998 5x3.103	1.338	-48.56
	Lu	-1318.33	2x2.697 5x2.935	1.656	-533.95
LnCl_8^{5-}	La	-481.88	3.255	1.397	-45.76
	Lu	-1118.55	3.079	1.932	-610.23

Зависимость энергии связывания в хлорокомплексах $\text{LnCl}_n^{(3-n)+}$ ($\text{Ln} = \text{La}$ или Lu) от числа координированных хлорид-ионов по данным метода MP2(Full) приведена на рис. 2. Отметим, что согласно приведенным данным для иона лантана (III) наибольшей устойчивостью характеризуются хлорокомплексы состава LaCl_4^- и LaCl_5^{2-} , тогда как для иона лютеция (III) наиболее устойчивыми являются структуры LuCl_5^{2-} и LuCl_6^{3-} . Следует отметить крайне значительный энергетический вклад учета электронной корреляции для хлорокомплексов иона лютеция (III). Это наблюдение подтверждается выводами работы [21] о тенденции роста решающей роли обменного взаимодействия Паули в устойчивости хлорокомплексов ионов лантаноидов при переходе от Ce к Yb.

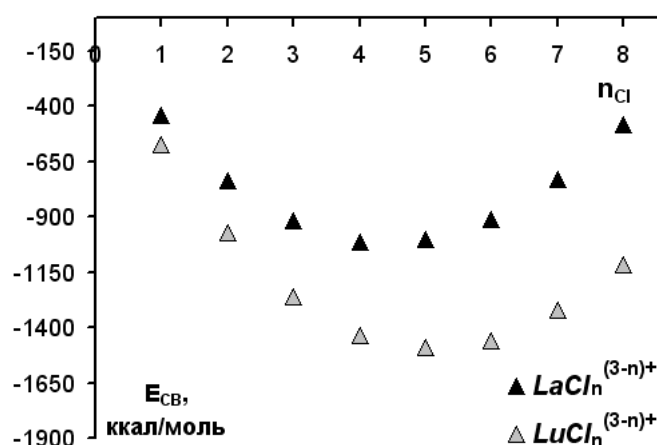


Рис. 2. Зависимость энергии связывания в хлорокомплексах $LnCl_n^{(3-n)+}$ ($Ln = La$ или Lu) от числа координированных хлорид-ионов по данным метода MP2(Full)

Зависимости среднего расстояния $Ln-Cl$ в хлорокомплексах $LnCl_n^{(3-n)+}$ ($Ln = La$ или Lu) от числа координированных хлорид-ионов по данным методов RHF и MP2(Full) приведены на рис. 3–4. Следует отметить, что в обоих случаях при $n > 5$ происходит изменение наклона тренда. По-видимому, сильные электростатические взаимодействия в высших хлорокомплексах $LnCl_n^{(3-n)+}$ приводят к более ажурной структуре соединений.

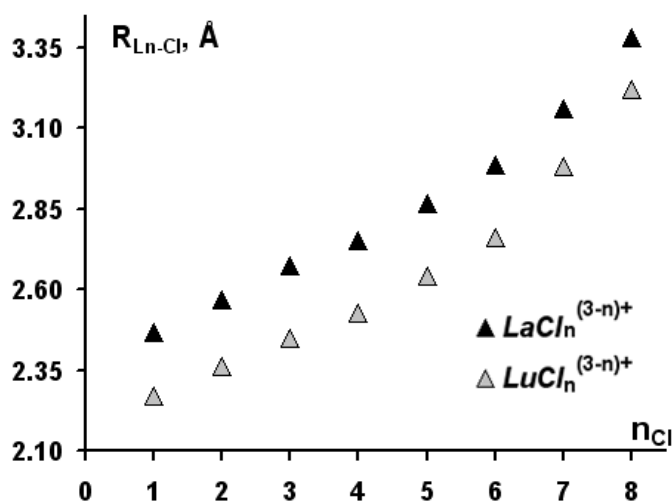


Рис. 3. Зависимость среднего расстояния $Ln-Cl$ в хлорокомплексах $LnCl_n^{(3-n)+}$ ($Ln = La$ или Lu) от числа координированных хлорид-ионов по данным метода RHF

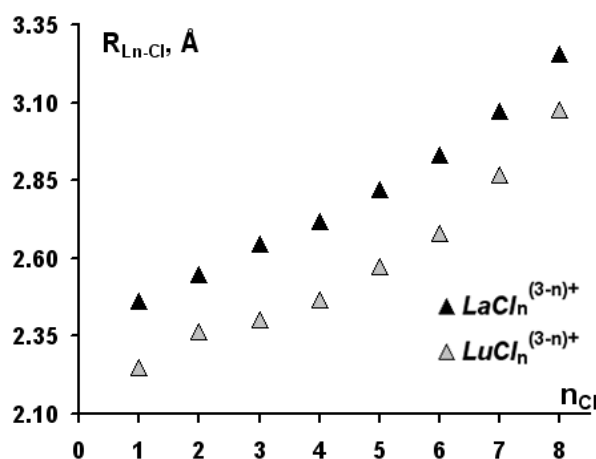


Рис. 4. Зависимость среднего расстояния $Ln-Cl$ в хлорокомплексах $LnCl_n^{(3-n)+}$ ($Ln = La$ или Lu) от числа координированных хлорид-ионов по данным метода MP2(Full)

Результаты проведенных расчетов показывают закономерное увеличение расстояний $\text{Ln}-\text{Cl}$ с увеличением числа хлорид-ионов, участвующих в сольватации катиона лантаноида вследствие увеличения стерических взаимодействий между лигандами. Как и следовало ожидать, предсказываемые методом Хартри – Фока средние длины связей $\text{Ln}-\text{Cl}$ превышают аналогичные, полученные методом MP2(Full). Причем с ростом координированных хлорид-ионов разность длин связей $\text{Ln}-\text{Cl}$ по данным обоих методов непрерывно возрастает, достигая величины 0.129 Å для комплекса LaCl_8^{5-} и 0.143 Å для комплекса LuCl_8^{5-} .

На рис. 5 приведена рассчитанная величина маллиkenовского заряда на атоме лантаноида в изученных хлорокомплексах лантана и лютеция от числа координированных хлорид-ионов. Следует отметить заметное различие в поведении обеих зависимостей при $n > 4$. Анализ приведенных данных для иона лантана свидетельствует о непрерывном увеличении степени переноса заряда с p-орбиталей координированных хлорид-анионов на s, p, d-орбитали иона лантана по достижению комплекса LaCl_6^{3-} , а в высших комплексах наблюдается уменьшение степени переноса заряда. В свою очередь, данные для иона лютеция свидетельствуют, что максимальный перенос заряда с p-орбиталей координированных хлорид-анионов характерен для комплекса LuCl_4^- , а при дальнейшем увеличении числа координированных хлорид-ионов степень переноса заряда резко уменьшается. По-видимому, это явление связано с заметным различием в распределении электронной плотности в хлорокомплексах $\text{LnCl}_n^{(3-n)+}$, обусловленным стабилизирующим влиянием полностью заполненной 4f-электронной оболочки для иона лютеция.

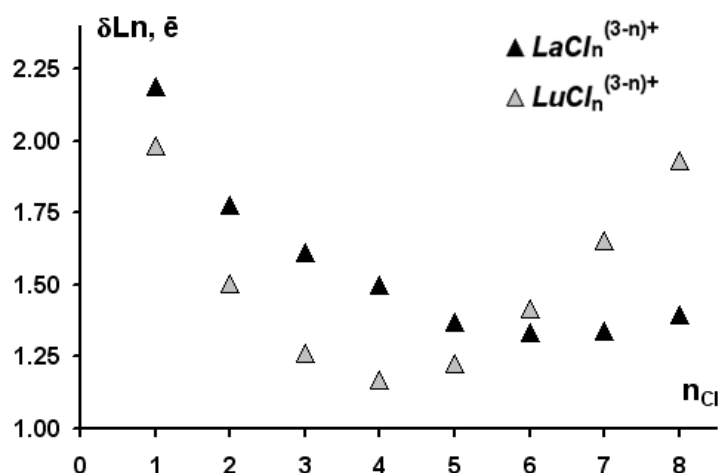


Рис. 5. Величина маллиkenовского заряда на атоме лантаноида в хлорокомплексах $\text{LnCl}_n^{(3-n)+}$ ($\text{Ln} = \text{La}$ или Lu) от числа координированных хлорид-ионов по данным метода MP2(Full)

Анализ зарядов на атомах координированных хлорид-анионов показал их значительную степень поляризации катионом Ln(III) . Поскольку взаимодействия $\text{Ln}^{3+}-\text{Cl}$ электростатические по своей природе [21], то перенос заряда дает значимый энергетический вклад в устойчивость высших комплексов $\text{LnCl}_n^{(3-n)+}$. В целом для изученных хлорокомплексов наблюдается монотонное возрастание анионного заряда на атомах хлора при увеличении числа координированных хлорид-анионов.

На основании расчетов методом MP2 средняя длина связи $\text{La}-\text{Cl}$ в хлорокомплексе LaCl_6^{3-} составляет порядка 2.930 Å, а в хлорокомплексе LaCl_7^{4-} порядка 3.073 Å. Как отмечалось выше, результаты метода XRD для расплавленного LaCl_3 , приводимые разными авторами, дают среднее расстояние $\text{La}-\text{Cl}$ в расплаве 2.82–2.86 Å и среднее координационное число 6–7 [24, 25]. Очевидно, что структуры комплексов $\text{LaCl}_n^{(3-n)+}$, оптимизированные в газофазных условиях, характеризуются более длинными расстояниями $\text{La}-\text{Cl}$ по сравнению с таковыми для конденсированных условий, характерных для расплавов. Очевидной причиной этого является неучет в рамках газофазных расчетов сильных поляризационных эффектов в искаженной тепловым движением квазикристаллической структуре расплава.

Завышение расстояний металл–галоген в среднем на 0.06–0.07 Å по сравнению с экспериментом при расчетах галогенидов лантаноидов с использованием псевдопотенциалов CEP-31G является известным фактом [42, 45]. Рассчитанная нами методом MP2 длина связи La–Cl 2.647 Å в молекуле LaCl₃ близка к оценке 2.642 Å, полученной точным методом МК-ССП [46], и наиболее точной оценке 2.612 Å, полученной методом CISD+Q [47] с использованием псевдопотенциала CEP-31G. Критически оцененная и рекомендуемая длина связи La–Cl в молекуле LaCl₃ составляет 2.59 Å [48].

Применяя эти коррекции к результатам наших расчетов на уровне MP2, получаем среднюю величину расстояния La–Cl для хлорокомплекса LaCl₆³⁻ порядка 2.86–2.87 Å, что приемлемо согласуется с диапазоном экспериментальных значений 2.85±0.04 Å в расплаве LaCl₃ [24, 25, 27]. Следовательно, исходя из структурных данных, можно сделать вывод, что в расплавленном LaCl₃ преобладающей формой является комплекс LaCl₆³⁻, что согласуется с предположениями работы [49], основанной на анализе КР-спектров комплексов K₃LaCl₆, Cs₂NaLaCl₆, Cs₃LaCl₆ до и после плавления. Предположение работы [26] о доминировании восьмикоординированной структуры в расплаве LaCl₃ по данным метода ND с учетом рассчитанных нами структурных характеристик хлорокомплекса LaCl₈⁵⁻ не находит подтверждения.

Рассчитанная нами методом MP2 длина связи La–Cl 2.404 Å в молекуле LuCl₃ близка к оценке 2.450 Å, полученной точным методом МК-ССП [46], и наиболее точной оценке 2.428 Å, полученной методом CISD+Q [47] с использованием псевдопотенциала CEP-31G. Критически оцененная и рекомендуемая длина связи Lu–Cl в молекуле LaCl₃ составляет 2.416 Å [48].

Исходя из полученного нами среднего расстояния Lu–Cl для комплекса LaCl₆³⁻ 2.679 Å и предполагая, что величина коррекции к результатам наших расчетов на уровне MP2 составляет 0.06–0.07 Å, можно предсказать, что средняя величина расстояний Lu–Cl в хлоридных расплавах при доминирующей роли хлорокомплексов LuCl₆³⁻ должна составлять порядка 2.61–2.62 Å. Это предположение подтверждается известными фактами, что в комплексном хлориде состава Cs₂Lu₇Cl₁₈ имеется структурный симметричный фрагмент состава –LaCl₆– со средним расстоянием Lu–Cl 2.583 Å [50], а в комплексном хлориде состава Cs₃Lu₂Cl₉ есть низкосимметричный фрагмент состава –LaCl₆– со средним расстоянием Lu–Cl 2.593 Å [50].

Рассчитанная нами средняя для всех изученных хлорокомплексов величина контракции при переходе от La к Lu составляет 0.22±0.03 Å, что близко к аналогичной величине 0.226 для трихлоридов лантаноидов [51] на основании расчетов методом MP2 с расширенными базисными наборами трипл-зета качества.

Для лучшего понимания молекулярной картины сольватации ионов лантаноидов в хлоридно-солевых расплавах необходимы дальнейшие изучения с явным учетом влияния противоионов-металлов и эффектов конденсированности среды за счет применения соответствующих сольватационных моделей.

Таким образом, методами *ab initio* Хартри – Фока и теории MP2 рассчитаны структурные и энергетические характеристики хлорокомплексов LnCl_n⁽³⁻ⁿ⁾⁺ (Ln = La или Lu, n=1–8), позволяющие детально представить сольватационные взаимодействия на микроскопическом молекулярном уровне и подтвердить, что в хлоридно-солевых расплавах ионы La(III) и Lu(III) могут быть максимально 8-координированы. Полученные результаты свидетельствуют о преобладающей роли комплексов LaCl₆³⁻ в локальной структуре расплавленного LaCl₃. Спрогнозировано, что средняя величина расстояний Lu–Cl в хлоридных расплавах при доминирующей роли хлорокомплексов LuCl₆³⁻ должна составлять порядка 2.61–2.62 Å.

Авторы выражают благодарность Dr. Anne-Laure Rollet (CNRS, Centre de Recherche sur les Materiaux a Hautes Temperatures (CRMHT), France) и Dr. Attila Kovacs (Institute of General and Analytical Chemistry, Budapest University of Technology and Economics, Hungary) за предоставленные полезные материалы, мотивировавшие эту работу.

Библиография

1. Ryan J.L., Jorgensen C.K. // *Journal of Physical Chemistry*. – 1966. – Vol. 70, № 9. – P. 2845–2857.
2. Maroni V.A., Hathaway E.J., Papatheodorou G.N. // *Journal of Physical Chemistry*. – 1974. – Vol. 78, № 17. – P. 1134–1135.
3. Glover W.J., Madden P.A. // *J. Chem. Phys.* – 2004. – Vol. 121, № 15. – P. 7293–7303.
4. Papatheodorou G.N. // *J. Phys. Chem.* – 1974. – Vol. 78, № 2. – P. 181–185.
5. Matsumiya M., Matsumoto S. // *Z. Naturforsch.* 59a, 2004. – S. 711–714.
6. Rycerz L., Gadzuric S., Gong W. // *Journal of Molecular Liquids*. – 2007. – № 131–132. – P. 246–253.
7. Kapala J., Bochynska M., Broczkowska K., Rutkowska I. // *Journal of Alloys and Compounds*. – 2008. – № 451. – P. 679–681.
8. Lecarpentier D., Vergnes J. // *Nucl. Eng. and Des.* – 2002. – № 216. – P. 43–67.
9. Shwageraus E., Hejzlar P., Kazimi M.S. // *Nucl. Tech.* – 2004. – № 147. – P. 53–68.
10. Shirai O., Yamana H., Arai Y. // *Journal of Alloys and Compounds*. – 2006. – № 408–412. – P. 1267–1273.
11. Inoue T. // *Progress in Nuclear Energy*. – 2002. – Vol. 40, № 3–4. – P. 547–554.
12. Moriyama H., Yamana H., Nishikawa S., Shibata S., Wakayama N., Miyashita Y., Moritani K., Mitsugashira T. // *Journal of Alloys and Compounds*. – 1998. – № 271–273. – P. 587–591.
13. Moriyama H., Yamada D., Moritani K., Sasaki T., Takagi I., Kinoshita K., Yamana H. // *Journal of Alloys and Compounds*. – 2006. – № 408–412. – P. 1003–1007.
14. Sakamura Y., Inoue T., Iwai T., Moriyama H. // *Journal of Nuclear Materials*. – 2005. – 340. – P. 39–51.
15. Corbett J.D., Pollard D.L., Mee J.E. // *Inorg. Chem.* – 1966. – Vol. 5. – № 5. – P. 761–766.
16. Kurata M., Sakamura Y., Hijikata T., Kinoshita K. // *Journal of Nuclear Materials*. – 1995. – № 227. – P. 110–121.
17. Castrillejo Y., Bermejo M.R., Barrado E., Martinez A.M., Diaz Arocas P. // *Journal of Electroanalytical Chemistry*. – 2003. – № 545. – P. 141–157.
18. Sun Y.H., He P., Chen H.N. // *Journal of Alloys and Compounds*. – 2007. – № 441. – P. 352–358.
19. Hazebroucq S., Picard G.S., Adamo C. // *J. Chem. Phys.* – 2005. – Vol. 122, 224512 (1–13).
20. K. Takeda, T. Tsuchiya, H. Nakano, T. Taketsugu, K. Hirao. // *Journal of Molecular Structure (Theochem)*. – 2001. – № 537. – P. 107–115.
21. Atanasov M., Daul C., Guidel H.U., Wesolowski T.A., Zbiri M. // *Inorganic Chemistry*. – 2005. – Vol. 44. – № 8. – P. 2954–2963.
22. Groen P., Oskam A., Kovacs A. // *Journal of Molecular Structure (Theochem)*. – 2000. – № 531. – P. 23–31.
23. Gutowski M., Boldyrev A.I., Simons J., Rak J., Blazejowski J. // *J. Am. Chem. Soc.* – 1996. – Vol. 118. – P. 1173–1180.
24. Okamoto Y., Madden P.A. // *Journal of Physics and Chemistry of Solids*. – 2005. – Vol. 66. – P. 448–451.
25. Iwadate Y., Suzuki K., Onda N., Fukushima K., Watanabe S., Matsuura H., Kajinami A., Takase K., Ohtori N., Umesaki N., Kofuji H., Myochin M. // *Journal of Alloys and Compounds*. – 2006. – № 408–412. – P. 248–252.
26. Wasse J.C., Salmon P.S. // *J. Phys.: Condens. Matter*. – 1999. – Vol. 11. – P. 1381.
27. Okamoto Y., Shiwaku H., Yaita T., Narita H., Tanida H. // *J. Mol. Struct.* – 2002. – № 641. – P. 71–76.
28. Zissi G.D., Chrissanthopoulos A., Papatheodorou G.N. // *Vibrational Spectroscopy*. – 2006. – Vol. 40. – P. 110–117.
29. Madden P.A., Wilson M., Hutchinson F.C. // *J. Chem. Phys.* – 2004. – № 120. – P. 6609.
30. Matsumiya M., Seo K. // *Z. Naturforsch.* 60a. – 2005. – S. 187–192.

31. Hutchinson F., Rowley A.J., Walters M.K., Wilson M., Madden P.A., Wasse J.C., Salmon P.S. // *J. Chem. Phys.* – 1999. – Vol. 11, N 5. – P. 2028–2037.
32. Brookes R., Davies A., Ketwaroo G., Madden P.A. // *J. Phys. Chem. B.* – 2005. – Vol. 109. – P. 6485–6490.
33. Matsuura H., Adya A.K., Bowron D.T., Berg R.W., Hjuler H.A. *Progress in Molten Salts Chemistry*, Elsevier. – Paris, 2000. – P. 335. – Vol. 1.
34. Bermejo M.R., Barrado E., Martinez A.M., Castrillejo Y. // *Journal of Electroanalytical Chemistry.* – 2008. – № 617. – P. 85–100.
35. Yamada D., Murai T., Moritani K., Sasaki T., Takagi I., Moriyama H., Kinoshita K., Yamana H. // *Journal of Alloys and Compounds.* – 2007. – № 444–445. – P. 557–560.
36. Rotzinger F.P. // *J. Phys. Chem., Ser. B.* – 2005, 109. – P. 1510–1527.
37. Frisch M.J. et al., GAUSSIAN03, Revision A.1, Gaussian Inc., Pittsburgh, PA, 2003.
38. Schlegel H.B. In «Modern Electronic Structure Theory», Ed. D.R. Yarkony, World Scientific, Singapore, 1995, P. 459–500.
39. Stevens W.J., Krauss M., Basch H., Jasien P.G. // *Can. J. Chem.* – 1992. – Vol. 70. – P. 612.
40. Бузько В.Ю., Кушхов Х.Б., Бузько М.Б., Панюшкин В.Т. // *Журнал неорганической химии.* – 2008. – Т. 53, № 11. – С. 1899–1905.
41. Hay P.J., Wadt W.R. // *J. Chem. Phys.* – 1985. – Vol. 82. – P. 270–283.
42. Vetere V., Adamo C., Maldivi P. // *Chemical Physics Letters.* – 2000. – 325. – P. 99–105.
43. Gordon M.S., Cundari T.R. // *Coordination Chemistry reviews.* – 1996. – № 147. – P. 87–115.
44. Huzinaga S., Andzelm J., Klobukowski M., Radzio-Andzelm E., Sakai Y., Tazewaki H., *Gaussian Basis Sets for Molecular Calculations*, Elsevier. – Amsterdam, 1984.
45. Tsuchiya T., Taketsugu T., Nakano H., Hirao K. // *J. Mol. Structure. (Theochem).* – 1999. – № 461–462. – P. 203–222.
46. Adamo C., Maldivi P. // *Chemical Physics Letters.* – 1997. – № 268. – P. 61–68.
47. Adamo C., Maldivi P. // *J. Phys. Chem. A.* – 1998, 102. – P. 6812–6820.
48. Hargittai M. // *Chem. Rev.*, 2000, 100. – P. 2233–2301.
49. Papatheodorou G.N. // *Inorg. Nucl. Chem. Letters.* – 1975. – Vol. 11. – P. 483–490.
50. Meyer G., Schleid T. // *Inorganic Chemistry.* – 1987. – Vol. 26, № 2. – P. 218–219.
51. Lanza G., Minichino C. // *J. Phys. Chem. A.* – 2005. – Vol. 109. – P. 2127–2138.

СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ НОВЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ И ГУАНИДИНСОДЕРЖАЩИХ СОЕДИНЕНИЙ

С.Ю. Хаширова, Ю.И. Мусаев, Э.Б. Мусаева, Н.А. Сивов, М.Х. Лигидов, А.К. Микитаев

Взаимодействием водорастворимых цвиттер-ионов – ионизованных мономер/полимерных карбоксилат анионов карбоновых кислот винилового ряда и катионов гуанидиния $(C(NH_2)_3)^{\oplus}$ или его производных с активированной целлюлозой хлопковой (АЦХ) в гетерогенной фазе получены образцы модифицированных целлюлозных волокнистых и порошковых материалов. Регулированием химического состава композитов «хозяин – гость», изменением условий протекания процессов взаимной иммобилизации молекулярных предшественников (за счет сорбции, ионных, водородных, ван-дер-ваальсовых, координационных и ковалентных связей) обеспечивается заданная пролонгированная кинетика выделения основных биоцидных компонентов – катионов гуанидиния $(C(NH_2)_3)^{\oplus}$ или его производных.

Предлагаются экономически выгодные способы получения препаратов и изделий медицинского назначения со значительно увеличенным биоцидным сроком службы. Методами элементного, качественного и количественного анализа, ИК-спектроскопии, АСМ и с помощью рентгено-дифракционных и биоцидных исследований определены их состав, структура и эффективность бактерицидного действия.

The samples of the modified cellulose fiber and powder materials have been obtained with help of interaction between the water-soluble cwitter – ions (ionized monomer/polymer carboxylate anions of carbonic acids of vinyl row and cations of guanidine $(C(NH_2)_3)^{\oplus}$ or its derivatives) and activated cotton cellulose in heterogeneous phase.

The given prolonged kinetics of the separation of the main biocide components, namely of cations of guanidine $(C(NH_2)_3)^{\oplus}$ or its derivatives, is provided either regulating chemical composition of the composites «host-guest» or changing the conditions of the processes of mutual immobilization of molecular predecessors (by means of sorption, ionic, hydrogen, van-der-waals, coordination and covalent bonds).

The economically profitable ways have been offered for the production of the preparations and medical articles possessing extended biocide service time. The structure, composition and effectiveness of their bacterial effect are verified using elemental, quality and quantity analyses, IR-spectrometry, atomic-force microscopy and also by the x-ray diffraction and biocide studies.

Введение

Синтез и исследование нанокомпозиционных материалов супрамолекулярной структуры, трансформерные полимерные матрицы которых способны к дополнительной целенаправленной модификации, структурной и химической взаимной иммобилизации, в последнее время приобрели большое значение.

Одним из наиболее интересных направлений получения подобного рода органических структурных комплексов «хозяин – гость» является создание моно/полиматричных нанокомпозиатов, где «хозяин» – молекулярные образования, например, одна или несколько полимерных матриц, содержащих аниотропные группы со сходящимися центрами связывания, «гость» – катиотропные субъединицы, центры связывания у которых расходятся в комплексах [1]. В общем виде такие нанокомпозиаты могут иметь состав $A-C-M-C_1-B$, где C и C_1 – ионогенные аниотропные группы, A и B – мономер/полимерные структурные фрагменты с различными функциональными группами (наряду с C и C_1), способные к взаимной иммобилизации или дополнительной химической модификации в результате полимеризации/поликонденсации *in situ*, M – координационно-связанный катион различного химического строения, обладающий практически важными за-

данными свойствами широкого спектра действия, способный к структурной и химической иммобилизации с С и С₁.

Варьирование химической природы ионогенных аниотропных групп С/С₁, химическая модификация мономер/полимерных исходных носителей компонента М (регулирование длины полимерной цепочки матриц «хозяев», химическая модификация элементарного звена или концевых групп структурных фрагментов А/В и т.д.) открывают широкие возможности взаимной иммобилизации компонентов в супрамолекулах, что предусматривает многоцелевое назначение нанокомпозиций и будущих изделий из них. Следовательно, актуальным становится поиск требуемого компонента М и его органических мономер/полимерных исходных носителей, содержащих функциональные центры С/С₁, пригодные для эффективной иммобилизации с М.

Объектом исследований являются способы синтеза и свойства моно/полиматричных нанокомпозиций, впервые полученных нами на основе активированной целлюлозы хлопковой (АЦХ) и новых водорастворимых ионогенных мономер/полимерных компонентов, содержащих в качестве «гостя» М катионы гуанидиния (С(NH₂)₃)[⊕] или его производные (основные биоцидные субъединицы).

Цель настоящей работы – получение новых изделий различного состава и назначения на базе модифицированных волокнистых и порошковых материалов, содержащих (С(NH₂)₃)[⊕] и его производные в качестве «гостя», а в качестве «хозяев» – гидрофильные субъединицы А–С и С₁–В мономер/полимерной структуры.

Экспериментальная часть

Исходные компоненты: 1) ЦХ – целлюлоза хлопковая марки «хч» в вакуумной упаковке, содержание карбонильных групп ≈ 0,5 %, степень полимеризации (СП, $n \approx 200$); 2) ДАЦХ – диальдегидцеллюлоза хлопковая (ЦХ, избирательно окисленная йодной кислотой) [2]; 3) АЦХ – активированные за счет предварительного набухания в воде ЦХ или ДАЦХ высокой степени периодатного окисления; 4) МАГ – метакрилат гуанидина или ПМАГ – полиметакрилат гуанидина [3]; 5) инициатор радикальной полимеризации ПСА – персульфат аммония (NH₄)₂S₂O₈ марки «ч.д.а.» (перекристаллизован из бидистиллированной воды, высушен в вакууме до постоянной массы). Все использованные реактивы по своим характеристикам соответствовали литературным данным. В ряде случаев МАГ/ПМАГ синтезировали в ходе их иммобилизации с АЦХ.

Строение, структуру, чистоту исходных соединений и конечных продуктов, эффективность их бактерицидного действия определяли в лабораториях: ИНЭОС РАН им. А.Н. Несмеянова, Института нефтехимического синтеза им. А.В. Топчиева РАН, Ивановского химико-технологического университета, Кабардино-Балкарского госуниверситета (центр коллективного пользования по спектральной и рентгеновской диагностике материалов), в бактериологической лаборатории ГСЭН КБР и Нальчикской городской ветеринарной лечебнице.

Количество СНО-групп в ЦХ и ДАЦХ определяли по методу Соболкса [4] и титриметрически по методике [5]. Содержание катионов гуанидиния в исследуемых образцах подтверждено данными количественного анализа на фотоэлектроколориметре КФК-3 [6]. ИК-спектры образцов сняты на ИК-спектрофотометре SPECORD M82 в области от 4000 до 400 см⁻¹. Образцы для ИК-спектроскопии готовили в виде таблеток с KBr или суспензии в вазелиновом масле. Визуализацию поверхности бактериальных клеток осуществляли в полуконтактном режиме АСМ на атомно-силовом микроскопе Solver Pro-47 лаборатории нанозондовых исследований КБГУ. В качестве зонда был использован кантилевер NGS-10 с острием из нитрида кремния, механическая жесткость кантилеверов составляла 0,06 и 0,12 Н/м. Величина силы взаимодействия между острием и исследуемой поверхностью составляла 10⁻⁹ Н.

Рентгенодифракционные данные получены при комнатной температуре на автоматизированном дифрактометре ДРОН-6 (36кВ, 20мА, λCuK_α, графитовый монокроматор на вторичном пучке, съемка по Бреггу – Брентано в интервале углов 2θ от 5 до 75°, шаг 0,05°, скорость сканирования 1 град/мин).

Отметим, что все исследования проводились с одной партией веществ. Некоторые из синтезированных в работе веществ и композитов находятся на стадии получения патентов, подробное изложение сути которых выходит за рамки настоящей публикации. Поэтому приведенные ниже результаты исследований рассмотрены на примере АЦХ и метакрилат/полиметакрилатгуанидина (МАГ/ПМАГ).

Обсуждение результатов

Удачное сочетание физико-химических, биоцидных, токсикологических и других свойств полученных нами прекурсоров (молекулярных предшественников, содержащих структурные фрагменты **A/B** (схема 1), на наш взгляд, делает их перспективными при использовании в виде самостоятельных веществ – носителей основного биоцидного компонента **М**) [3–9], а также как взаимодействующих субъединиц, содержащих в качестве «гостя» **М** обобществленные катионы гуанидиния ($C(NH_2)_3^{\oplus}$) или его производные.

За счет создания таких взаимно иммобилизованных структур в конечных продуктах **A–C–M–C₁–B** следует ожидать проявления синергизма уникальных свойств прекурсоров, содержащих структурные фрагменты **A–C–** и **B–C₁–**, что открывает широкие возможности для их использования в качестве не только наполнителей в композиционных материалах, но и трансформерных моно/полиматричных нанокомпозитов [10].

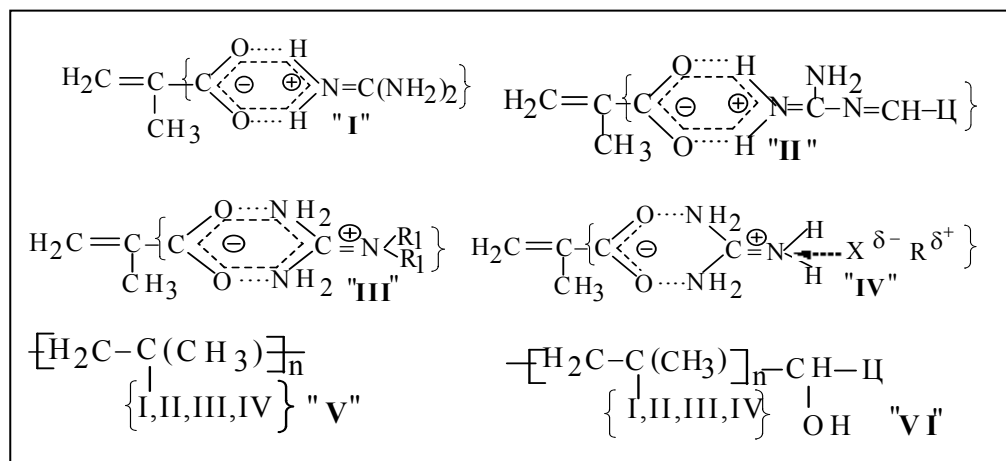


Схема 1. Мономер/полимерные ионогенные цвиттер-ионные делокализованные резонансные структуры (а–ж)

На схеме 1 (I–VI) в общем виде представлены полученные нами мономер/полимерные ионогенные цвиттер-ионные делокализованные резонансные структуры **A–C–M** или **A–C–M–C₁–B** различного строения и состава, где:

– **C** – карбоксилат-анион, имеет симметрию второго порядка, со сходящимися центрами связывания в супрамолекулярных комплексах;

– **A** – мономерные структурные фрагменты, содержащие алифатическую составляющую метакриловой или другой карбоновой кислоты винилового ряда (при этом в ходе полимеризации *in situ* образуются конечные продукты типа «д»); если **A** в присутствии ПСА и АЦХ участвует в полимеризации *in situ*, не следует исключать возможность привитой сополимеризации за счет дополнительного образования углерод-углеродных σ -связей с $-CHO$ группами АЦХ (см. «VI»);

– **C₁** – альдиминовая составляющая $=CH-$ (схема 1, «II») или нуклеофильная составляющая $X^{\delta-}$ (функциональные альдегидные $-CHO$ или гидроксильные $-OH$ группы АЦХ, схема 1, «IV»);

– **B** – $R^{\delta+}$ (фрагмент основной цепи АЦХ на схеме 1, «IV»);

– **M** (основной биоцидный компонент) – катион гуанидиния ($C(NH_2)_3^{\oplus}$) (протонированная форма исходного гуанидина), имеет симметрию третьего порядка, его центры связывания в супра-

молекулярных структурах расходятся в комплексах. Отметим, что в катионе гуанидиния длина связи C–N равна 0,132 нм, и он является прекрасным центром связывания с различными структурными фрагментами нуклеофильной природы [1], т.к. остается протонированным в очень широком диапазоне pH, например, 4 %-ые водные растворы $(\text{H}_2\text{N})_2\text{C}=\text{NH} \times \text{HCl}$ и $(\text{H}_2\text{N})_2\text{C}=\text{NH} \times 0,5\text{H}_2\text{CO}_3$ соответственно имеют значения pH = 6,4 и 11,2 [11]. В работе использована способность гуанидина к химической модификации, в нашем случае **М** – также протонированная форма N-аллильных (схема «III») $\text{R}_1 = -\text{CH}_2-\text{CH}=\text{CH}_2$) или альд-/кетиминовых производных гуанидина (схема 1, «II» и «VI»), где структурный фрагмент АЦХ ($=\text{CH}-\text{Ц}$) связан ковалентной связью с атомом N.

В нашем случае нуклеофильной составляющей –X (схема 1, «IV») в таких мономер/полимерных цвиттер-ионных делокализованных резонансных структурах может выступать неспаренная пара электронов атома кислорода альдегидной ($-\text{CH}\ddot{\text{O}}$) или гидроксильной ($-\ddot{\text{O}}\text{H}$) групп АЦХ. Такой тип связывания относительно легко может разрушаться и восстанавливаться (иногда образуя другие структуры) как под действием различных природных факторов, так и в результате направленного целевого воздействия (изменение pH среды, температуры, природы растворителя, а также за счет взаимодействия с мембранной поверхностью бактериальной клетки или конкурирующими обменными катионами при их наличии) [12].

С учетом приведенных выше типов связывания, мы можем говорить о различных «хозяевах» – мономер/полимерных носителях «гостя» **М** (катиона гуанидиния или его производных) в супрамолекулярных структурах, т.е. о различной комбинации субъединиц, способных к взаимной иммобилизации.

Великолепная способность ЦХ к сорбции (8–14 % при влажности воздуха 65 %) и набуханию в воде (60–130 %) обусловлена наличием внутри- и межфибриллярных пор, размер которых достигает 1,5 нм и 1,5–10 нм соответственно. Отметим, что процесс предварительной активации АЦХ за счет набухания в воде (поры при этом могут достигнуть нескольких десятков нм) способствует увеличению скорости диффузии гидрофильных реагентов, активирующих и модифицирующих функциональные группы АЦХ. Процесс предварительной активации ЦХ/ДАЦХ за счет набухания в воде предшествовал как химической модификации, так и иммобилизации биоцидных компонентов на ЦХ/ДАЦХ. Высокая гидрофильность и способность АЦХ и МАГ/ПМАГ к образованию достаточно устойчивой супрамолекулярной системы «хозяин – гость» явилась основополагающим фактором для их выбора при создании новых модифицированных материалов, где в качестве матрицы могут выступать как трансформерные структурные фрагменты АЦХ, так и ПМАГ.

В литературных источниках описано несколько основных технологических способов создания нанокпозиционных биоцидных материалов супрамолекулярной структуры «хозяин – гость» [14]. В данной работе (с учетом предназначения готового изделия, химической и структурной предыстории исходных субъединиц, соотношения исходных компонентов в ходе иммобилизации, природы растворителя, природы носителя основного биоцидного компонента **М** и механизма его включения, времени обработки, температуры, pH среды, взаимодействия **М** с конкурирующими обменными катионами или мембранной поверхностью бактериальной клетки) процессы образования супрамолекул в результате взаимной иммобилизации используемых нами прекурсоров условно можно разделить на пять типов:

1) *поверхностный* (матрица АЦХ, модификаторы МАГ/ПМАГ) – основной биоцидный компонент **М** наносится на поверхность изделия из АЦХ с помощью **А–С–М** (МАГ/ПМАГ), в нашем случае количество **А–С–М** в зависимости от условий иммобилизации достигало 15 % масс от АЦХ, **М** используется как «ударная доза», т.к. деиммобилизуется достаточно легко;

2) *межфибриллярный* (матрица АЦХ или биматрица ПМАГ–АЦХ, если их соотношение соизмеримо) – основной биоцидный компонент **М** связан с носителем **А–С–** за счет ионных сил (электростатического взаимодействия противоположно заряженных субъединиц), и в результате неспецифической сорбции с АЦХ (**В–С₁–**) в межфибриллярном пространстве за счет водородных, внутри- и межмолекулярных координационных связей, вандер-ваальсовых сил, **М** де-

иммобилизуется пролонгировано, значительно медленнее, чем в случае **1**, количество **A–C–M** достигало 3–5 % масс от АЦХ;

3) внутрифибриллярный (матрица АЦХ), основной биоцидный компонент **M** в результате специфической сорбции входит во внутрифибриллярные поры АЦХ, при этом может блокироваться при выходе из пор слабо связанным аниотропным полимерным носителем **A–C–**, деиммобилизуется пролонгировано и медленнее, чем в случае **1** и **2**, количество **M** достигало 0,5 % масс от АЦХ;

4) химический (см. схему 1, матрица – модифицированная АЦХ), когда биоцидный компонент **M** связан с АЦХ дополнительной азометиновой связью «II» в результате реакции конденсации (количество **M** достигало 0,2 % масс от ЦХ и 28 % масс от ДАЦХ); или углерод-углеродной σ -связью «VI» в результате привитой полимеризации (количество ПМАГ – 15–50 % масс), что дополнительно затрудняет деиммобилизацию **M**;

5) механический: 1. а) АЦХ (матрица)+ПМАГ, б) ПМАГ (матрица) + **B–C₁–M** (ЦХ, модифицированная **M**); 2. особый случай, когда мономер/полимерные делокализованные резонансные структуры **A–C–M**, **B–C₁–M** или **A–C–M–C₁–B** использовались нами как нанодобавки в различные полимерные матрицы в количестве до 5 % масс.

Ниже приведены данные ИК-спектроскопии и рентгено-дифракционных исследований наиболее характерных образцов ЦХ, ДАЦХ, МАГ и ПМАГ, а также композитов на их основе состава ЦХ+МАГ, ДАЦХ+МАГ, ЦХ+ПМАГ (*in situ*), ДАЦХ +ПМАГ (*in situ*), ПМАГ+ЦХ (тип **5**). Для выяснения механизма действия основного биоцидного компонента **M** на бактериальные клетки *St. aureus* и *Str. Pyogenes* использовался метод АСМ.

Краткий сравнительный анализ ИК-спектров исходных прекурсоров и супрамолекулярных систем «хозяин – гость» ЦХ+МАГ, ДАЦХ+МАГ, ДАЦХ+ПМАГ (*in situ*), ДАЦХ+ПМАГ (механическая смесь) выявил существенные различия между ними (рис. 1, 2).

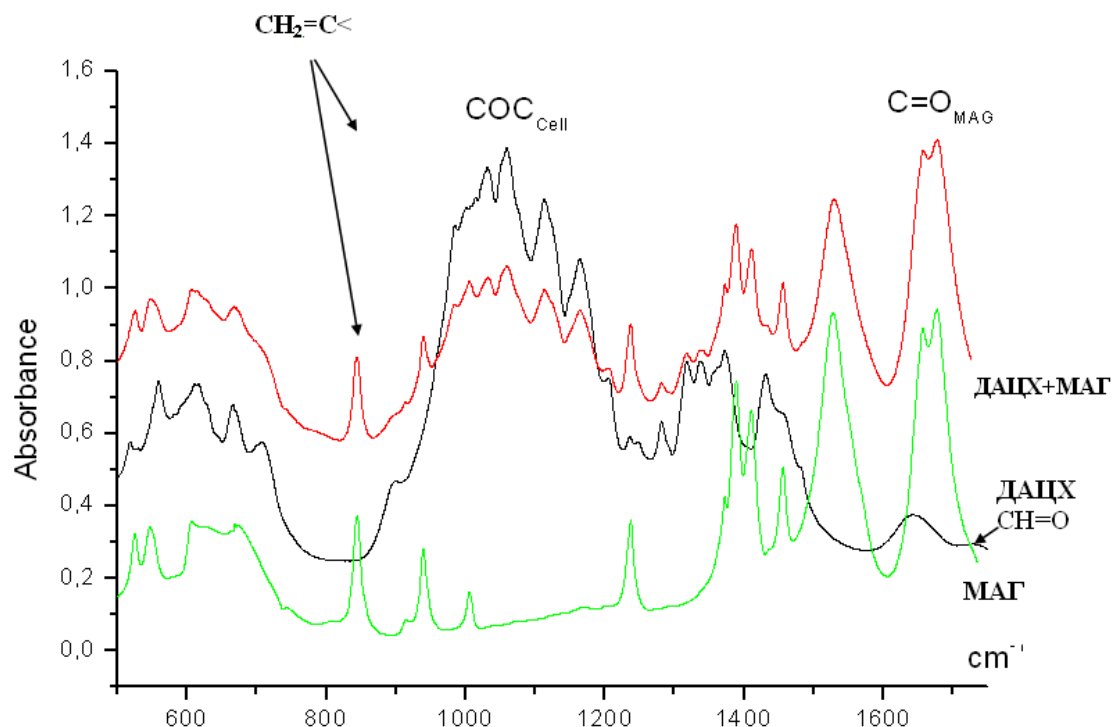
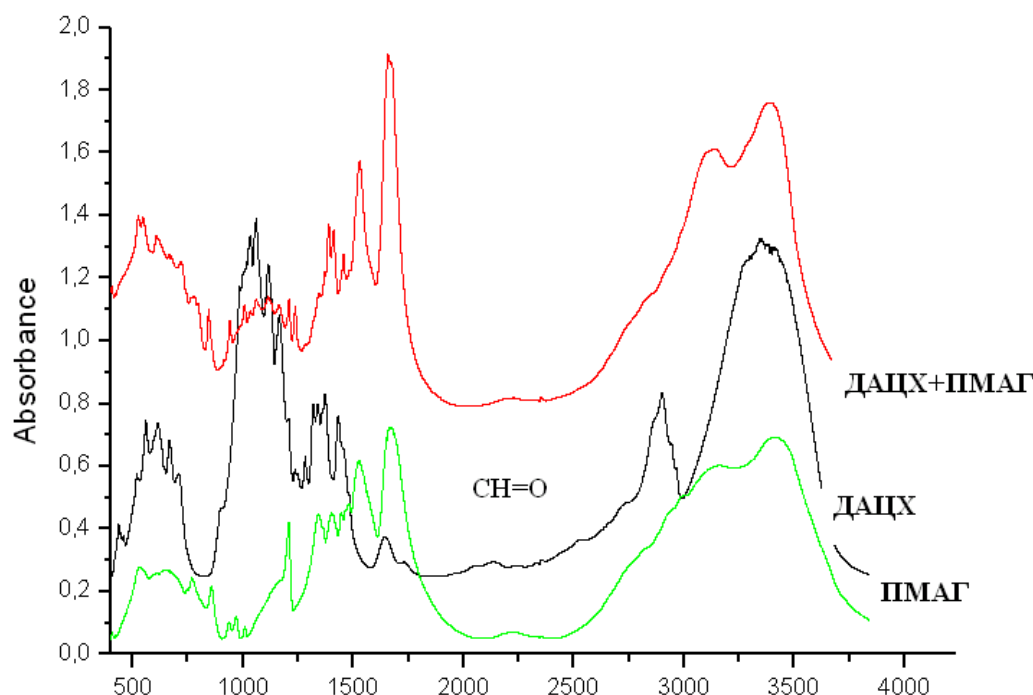


Рис. 1. ИК-спектры МАГ, ДАЦХ, ДАЦХ+МАГ

Рис. 2. ИК-спектры ПМАГ, ДАЦХ, ДАЦХ+ПМАГ (*in situ*)

ИК-спектр ЦХ соответствовал литературным данным [15]. Наличие в образце ЦХ+МАГ нескольких полос поглощения в области $1000\text{--}1200\text{ см}^{-1}$, характерных для ЦХ, и полосы в области 854 см^{-1} (МАГ), увеличение интенсивности пика в область $1655\text{--}1660\text{ см}^{-1}$, характерного для альдиминовой $\text{C}=\text{N}$ связи, свидетельствуют о том, что МАГ прореагировал с концевыми СНО-группами ЦХ ($\approx 0,5\%$ мол). При этом пик с максимумом 1645 см^{-1} (деформационные колебания прочно связанной воды в ЦХ) в спектре ЦХ+МАГ смещается в область $1655\text{--}1660\text{ см}^{-1}$, что свидетельствует о вытеснении МАГом воды из образца.

В спектре ДАЦХ (рис. 1, 2) имеется четкая полоса средней интенсивности в области 1740 см^{-1} , характерная для несвязанных альдегидных групп, что наблюдается только в диальдегидцеллюлозе высокой степени периодатного окисления и указывает на ее образование [2].

Спектральным тестом наличия МАГ в композитах является полоса поглощения в области $860\text{--}850\text{ см}^{-1}$, характерная для неплоских деформационных колебаний в узле $\text{CH}_2=\text{C}<$ (рис. 1, кривая МАГ, ДАЦХ+МАГ), которая позволяет наблюдать не только за процессами получения ПМАГ и иммобилизации МАГ на АЦХ, но и за исчезновением двойных связей при полимеризации МАГ *in situ* в синтезируемых супрамолекулярных наноструктурах. Взаимодействие между функциональными группами АЦХ и МАГ сопровождается изменением относительной интенсивности полос 1580 , 1565 и 1532 см^{-1} ($>\text{C}=\text{O}$ МАГ) и полос в области поглощения —OH групп АЦХ ($3500\text{--}3000\text{ см}^{-1}$), а также ряда полос в области $1000\text{--}1100\text{ см}^{-1}$ (C—O—C АЦХ) (рис. 1, кривая ДАЦХ+МАГ).

При полимеризации МАГ (*in situ*) в АЦХ на спектрах (например, рис. 2, кривая ДАЦХ+ПМАГ) отсутствует полоса в области $860\text{--}850\text{ см}^{-1}$, свидетельствовавшая о наличии двойной связи в АЦХ+МАГ, кроме того, меняется соотношение интенсивности полос как АЦХ (область $1000\text{--}1100\text{ см}^{-1}$), так и МАГ. Наблюдается расщепление полосы $>\text{C}=\text{O}$ связей ПМАГ в области 1250 см^{-1} , что явно указывает на сильное взаимное влияние АЦХ и ПМАГ и свидетельствует о вероятности образовании биматричных систем.

При механическом смешении АЦХ (матрица)+ПМАГ (тип 5.1.а) на ИК-спектрах образцов удастся зафиксировать лишь слабо выраженную широкую полосу в области 1530 см^{-1} (одну из самых интенсивных полос, характерных для спектра ПМАГ) и уширение полосы 1640 см^{-1}

(H₂O в АЦХ), что указывает на присутствие небольших количеств ПМАГ в АЦХ. Результаты элементного анализа на азот подтвердили, что при обработке АЦХ водным раствором полимера в широком интервале концентраций степень иммобилизации ПМАГ не превышает 5–7 %.

Для образцов типа (5.1.б) – ПМАГ (матрица)+В–С₁–М, в ИК-спектрах наблюдается слабая интенсивность полос поглощения, характерных для ЦХ, модифицированной М, из чего можно предположить, что В–С₁–М незначительно встраивается в цепь ПМАГ.

Рентгеноструктурные исследования вышеуказанных образцов показали, что в композитах АЦХ+МАГ/ПМАГ (*in situ*) наблюдается аморфизация образцов, степень кристалличности снижается на 25 %, при этом их плотность соответствует плотности аморфной целлюлозы. Радиальная сополимеризация ДАЦХ с метакрилатом гуанидина сопровождается уменьшением степени кристалличности, и значительно снижается устойчивость гликозидных связей ДАЦХ по сравнению с ЦХ. Это иногда приводит к образованию порошковой ДАЦХ, способной к набуханию в воде до однородной коллоидной дисперсии консистенции пасты (мази). В ряде случаев это можно рассматривать как отрицательный (т.к. разрушается носитель) или положительный (т.к. можно регулировать размеры носителя) фактор. Причем следует иметь в виду, что часть ковалентно-связанного МАГ/ПМАГ может переходить в раствор вследствие гидролитической деструкции носителя в виде как растворимых, так и нерастворимых высокомолекулярных коллоидных конгломератов. Например, чем выше степень окисления ДАЦХ и чем более щелочное значение рН среды, тем легче и быстрее идет процесс гидролитической деструкции.

Простая обработка АЦХ водным раствором ПМАГ, наоборот, приводит к увеличению степени кристалличности образцов (χ_c = 61 %). Видимо, выдерживание АЦХ в растворе полимера приводит к частичной рекристаллизации целлюлозы.

Таким образом, показано, что устойчивые супрамолекулярные системы «хозяин – гость», где в качестве матрицы могут выступать как АЦХ, так и ПМАГ, образуются за счет ван-дер-ваальсовых сил; внутри- и межмолекулярных координационных и водородных связей; С–С связей, образующихся при радикальной полимеризации *in situ* иммобилизованного МАГ, или в ходе привитой радикальной сополимеризации МАГ с АЦХ, а также за счет образования лабильных ковалентных альдиминовых С=N связей.

Антимикробную активность АЦХ+МАГ изучали на собаках и кошках в условиях Нальчикской городской ветеринарной лечебницы. Бактерицидная эффективность модифицированной АЦХ оценивалась по динамике воспалительного процесса и характеру заживления раневого дефекта.

Наблюдения проводились ежедневно с учетом гистологических изменений в ранах. Через 3 суток от начала лечения отмечено, что при применении АЦХ+МАГ степень выраженности воспалительных процессов была снижена. Так, язвенный дефект кожи с гнойно-некротическими изменениями в дне сохранялся в течение первых 2 суток, к 5-м суткам происходило практически полное очищение раны от гнойно-некротического детрита и формирование соединительно-тканного рубца.

Гистологические исследования показали, что использование АЦХ+МАГ при лечении гнойных ран приводит к скорейшему купированию гнойного воспаления и ускоряет заживление инфицированных дефектов кожных покровов. Бактериологическими исследованиями установлено, что АЦХ+МАГ эффективна против протей vulgaris (*Proteus vulgaris*), синегнойной палочки (*Ps. aureginosa*) и золотистого стафилококка (*St. Aureus*).

Таким образом, выбор активированной целлюлозы и полимерных гуанидинсодержащих цвиттер-ионных делокализованных резонансных структур для получения новых модифицированных моно- и биматричных композиционных материалов, в которых имеются ковалентные, ионные или координационные связи целлюлозы с солями четвертичных аммониевых оснований, открывает перспективу создания наноструктур и нанокомпозитов с трансформерной полимерной матрицей, представляющих существенный научный и практический интерес. Изделия на их основе можно использовать для изготовления одежды, упаковки, перевязочных мате-

риалов медицинского назначения, а также фильтрующих мембран для стерилизации воздуха и обеззараживания речной воды, обладающих одновременно пролонгированными биоцидными и легко регенируемые адсорбционными свойствами, поскольку в состав гуанидинсодержащих мономеров и полимеров входят ионогенные группы.

Библиография

1. Сид Дж.В., Этвуд Дж.Л. Супрамолекулярная химия. – Т. 1, 2. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2007. – С. 895.
2. Сюткин В.Н., Николаев А.Г., Сажин С.А., Попов В.М., Загорянский А.А. // Химия растительного сырья. – 1999. – № 2. – С. 91.
3. Сивов Н.А., Мартыненко А.И., Кабанова Е.Ю., Попова Н.И., Хаширова С.Ю., Эсмурзиев А.М. // Нефтехимия. – 2004. – № 1. – С. 47.
4. Оболенская А.Д., Ельницкая З.П., Леонович А.А. Лабораторные работы по химии древесины и целлюлозы. – М.: Экология, 1991. – С. 320.
5. Кузнецов Н.К., Захарова И.М. Лабораторный практикум по курсу «Физико-химия полимеров». – Ивановский государственный химико-технологический университет, 2007. – С. 96.
6. Cerri O., Gerali G., Micheli A. Boll. Chim. Farm. –1974, 113. – № 9. – Р. 467–472.
7. Гальбрайх Л. Соросовский образовательный журнал. – 1996. – № 11. – С. 47.
8. Вирник А.Д. Итоги науки и техники. Серия «Химия и технология высокомолекулярных соединений». – 1986. – Т. 21. – С. 35.
9. Афиногенов Г.Е., Панарин Е.Ф. Антимикробные полимеры. – СПб.: Гиппократ, 1993. – С. 264.
10. Хаширова С.Ю., Мусаев Ю.И., Микитаев А.К., Малкандуев Ю.А., Лигидов М.Х. // Высокомолек. соед. А. – 2009. – Т. 51, № 9. – С. 1.
11. Химическая энциклопедия. – М.: Советская энциклопедия, 1988. – Т. 1. – С. 617.
12. Хаширова С.Ю., Мусаев Ю.И., Малкандуев Ю.А., Лигидов М.Х., Мусаева Э.Б., Сивов Н.А., Микитаев А.К. // Нанотехника. – 2009. – № 3 (19). – С. 58.
13. Общая органическая химия / под ред. Н.К. Кочеткова, Л.В. Бакиевского. – М.: Химия, 1982. – Т. 3. – С. 734.
14. Химическая энциклопедия. – М.: Советская энциклопедия, 1990. – Т. 2. – С. 422.
15. Азаров В.И., Буров А.В., Оболенская А.В. // Химия древесины и синтетических полимеров. – СПб.: СПбЛТА, 1999. – С. 628.

УДК 81

ЖАНРОВО-СТИЛИСТИЧЕСКИЙ АРХЕТИП НАУЧНОЙ РЕЧИ И ЕГО ВАРИАЦИИ

Р.С. Аликаев, М.Р. Аликаева

Статья посвящена анализу научного текста и установлению жанрово-стилистического архетипа научной речи и его подвидов.

The article is dedicated to the analyses of the scientific text and the establishment of the genre and stylistic archetype of the scientific speech and its subtypes.

Как известно, основными жанрами научного стиля (академического и научно-технического подстилей) принято считать монографию и научную статью. Этой точки зрения придерживаются многие исследователи (Т.Н. Мальчевская, Е.С. Троянская, В.Л. Наер, О.Д. Митрофанова и мн.др.). Е.С. Троянская выделяет три группы жанров: ядерные, периферийные и пограничные. К ядерным она относит монографию, научно-технический отчёт, диссертацию и статью. К периферийным жанрам она относит вторичные тексты, построенные на основе какого-либо другого текста – рецензию, реферат, аннотацию, тезисы. К пограничным стилям, по мнению исследователя, следует отнести такие жанры, как патент и госстандарт, так как они находятся на периферии стиля, или в зоне пересечения научного и делового стилей.

Монографический жанр в научной речи является наиболее сложным как в коммуникативном, так и в структурном плане. Эта сложность обусловлена содержательной и структурной сложностью монографического макротекста, который распадается на целый ряд тематически объединённых совокупностей микротекстов, выделяемых на основе деления гипертемы на подтемы. Особенностью монографии в коммуникативно-прагматическом плане является то, что она рассчитана, прежде всего, на визуальное усвоение, неоднократное прочтение, изучение и конспектирование отдельных частей, внимательный анализ отдельных разделов. Она адресована человеку, имеющему тот же уровень интеллектуального развития, те же или сходные научные интересы, что и у субъекта речи; иными словами, участники коммуникативного акта обладают практически равными пресуппозициями. Основную интенцию данного макротекста можно представить следующим образом – «убедить, доказать, проиллюстрировать, что представленная автором система Х является истинной». Данная интенция порождает более мелкие, конкретные – «проинформировать, что явление А имеет место», «доказать, что А связано с В», «проиллюстрировать эту связь», «сообщить что В включает в себя С и Д», и т.д. Этот жанр существует в практике русского и немецкого языков уже более двухсот лет, поэтому он полностью сформировался, имеет специфические дифференциальные признаки, основными из которых являются:

- тема, которая должна представлять рассмотрение одной из актуальных проблем дисциплинарной науки;
- содержательная сложность: иллокутивная сила высказывания вносит значительный вклад в развитие одной из научных дисциплин;
- структура: монография состоит из введения, где изложены исходный материал и основные положения исследования, нескольких глав, или разделов, в которых последовательно

рассматриваются все вопросы, имеющие отношение к проблеме, и заключения, обобщающего, формулирующего основные результаты исследования.

С точки зрения коммуникативной и семантической цельности монографический жанр представляет собой сложный конгломерат макро- и микротекстов. Считать монографию одним макротекстом возможно лишь с большими допущениями и только с позиций культурологии, науковедения. С позиций прагмалингвистики это представляется невозможным, так как трудно себе представить человека, создающего подобный текст в течение одного коммуникативного акта, одной речевой ситуации, а также невозможно представить себе другого человека, который воспринимает (=читает) данный текст непрерывно, не отрываясь ни на минуту. В данном случае восприятие монографии как коммуникативного целого является условным допущением, так как противоречит сложившимся нормам деятельности, в том числе и речевой, психофизиологическим возможностям человека. В этом плане следует признать чрезвычайно важным выделение тематически и интенционально целостного фрагмента – главы, параграфа – в качестве коммуникативного блока, формирующего целостный макротекст.

Создание и восприятие текста монографического жанра предполагает множество однотипных коммуникативных актов, где каждый последующий совершается в контексте предыдущих и, соответственно, может рассматриваться, изучаться, восприниматься только на их фоне, в их окружении. Поэтому серьёзное изучение, рассмотрение такого текста должно вестись с учётом того, что он является лишь компонентом, структурной и смысловой частью макротекста, организующего данный жанр.

Следует отметить, что монография является особым жанром и можно выделить несколько её вариативных разновидностей: монография одной темы и одного автора; монография избранных работ одного автора; монография одной темы и разных авторов. Разумеется, наиболее цельным жанровым образованием является первый вид монографии, так как он обладает рядом особенностей. «Менее всего регламентированным среди других собственно научных произведений в отношении композиции, синтаксической структуры и используемой лексики, а также средств выражения субъективного отношения и оценки являются монографии (одного автора), где уже сам значительный объём текста предполагает возможность широкого варьирования форм текстового членения, где шире простор для утверждения авторского «я» и для развёрнутого выражения авторских оценок» [9: 22]. Именно данный подвид монографии является основным в плане изучения трансформации и развития данного жанра, так как именно в данном случае наиболее плодотворно осуществляется взаимодействие творца (=создателя текста) и формы. Личность, свободно владеющая образцами жанра, не может удовлетвориться его традиционными характеристиками, она стремится к их развитию, к вариативности отдельных признаков, составляющих целое.

Другие подвиды монографии значительным образом отличаются от указанного. Так, в последнее время появилось много монографий одного автора, включающих избранные работы в рамках дисциплины, направления и т.д. Подобный вид макротекстов можно отнести к монографическому жанру лишь условно, на основании внешних формальных показателей – издание в одном томе. На самом деле такие виды текстов представляют собой сборник статей, так как чаще всего написаны они в разное время, и если даже и рассматривают одну общую гипертему, то делают это на различном материале. Помимо этого, фоновые характеристики разделов такой монографии различны: с течением времени изменяется текстовый тезаурус, соответственно, и автор опирается на другой, новый комплекс знаний и понятий при разработке каждой следующей статьи. Подобный вид монографии (избранные работы одного автора) следует рассматривать как комплекс научных статей.

Монография группы авторов, посвящённая единой теме, более формализована. Её отличительная черта – личность говорящего скрывается за абстрактным автором, сообщаемое как бы вкладывается в уста группы лиц, «представителей научной общественности». Это влечёт за собой соответствующие изменения как в стиле изложения (он становится более «сухим», фор-

мализованным), так и в содержательной структуре макротекста: отдельные фрагменты монографии, хоть и связаны между собой структурно, разнятся содержательно, что проявляется в отсутствии внутренней связи между фрагментами, в отсутствии отсылок к предыдущим структурным частям монографии. Однако было бы несправедливо сопоставлять такие монографии со сборниками статей различных авторов, так как в данном случае выдерживаются основные признаки монографии – единство темы, содержания и структуры. В соблюдении принципов единства темы и структуры можно отметить и некоторые различия. В качестве примера сравним структуры двух блоков монографий на русском, немецком и английском языках из трёх названий в каждом:

Блок 1

а) Рыбаков Б.А. Язычество Древней Руси. – М., 1998.

Предисловие. Часть первая. *Язычники «трояновых веков». Глава 1. Предки Руси. Глава 2. Погребальная обрядность. Глава 3. Святилища, идолы и игрища. Глава 4. Календарные «черты и резы».*

Часть вторая. *Апогей язычества. Глава 5. На пороге государственности. Глава 6. Язычество северных окраин. Глава 7. Жреческое сословие Древней Руси. Глава 8. Противоборство язычества и христианства в X в. Глава 9. Языческая реформа Владимира.*

Часть третья. *Двоеверие (XI–XIII вв.). Глава 10. Дом в системе языческого мировоззрения. Глава 11. Народные обереги. Глава 12. Язычество в городском быту XI–XIII вв. Глава 13. Языческие обряды и празднества XI–XIII вв. Глава 14. Историческое развитие славяно-русского язычества.*

б) Menzel W.W. Vernakuläre Wissenschaft. Christian Wolffs Bedeutung für die Herausbildung und Durchsetzung des Deutschen als Wissenschaftssprache. Tübingen, 1996 Vorwort. Einleitung.

I. Entwicklung und Stand der Wolff' – Forschung. *1. Das neuerwachte Interesse an Christian Wolff. 2. Höchster Ruhm zu Lebzeiten und Beginn der wissenschaftlichen Auseinandersetzung. 3. Die Abwertung Wolffs Ende des 18. Und im 19. Jahrhundert, vereinzelte Würdigungen im 19. Jahrhundert. 4. Übergang zur gegenwärtigen Wolff – Forschung. 5. Wolff in der Historiographie der Naturwissenschaften. 6. Sprachwissenschaftliche Arbeiten.*

II. Was ist Wissenschaftssprache? Das Problem der Gegenstandsbestimmung und des methodischen Zugangs in der linguistischen Fachsprachenforschung.

1. Versuch einer Definition. 2. Differenzierungen. 3. Geschichte und thematische Schwerpunkte der Fachsprachenforschung. 4. Der methodische Ansatz der vorliegenden Arbeit.

III. Die günstige Ausgangslage für die Wissenschaftssprache Wolffs.

1. Versuch einer Definition. 2. Fach-und Wissenschaftssprache. 3. Die Entwicklung in England und Frankreich.

IV. Die historischen wissenschaftstheoretischen und institutionellen Rahmenbedingungen für Wolffs deutsche Wissenschaftssprache

1. Die Neuorientierung der Wissenschaften am «mathesis» – Gedanken als epochaler Denkstilwandel. 2. Universität im Umbruch. 3. Verschiebungen in Lehrkanon und Fakultätenhierarchie. 4. Wolffsanteil an der Universitätsreform. 5. Die Notwendigkeit einer neuen Sprache.

V. Der neue Wissenschaftsbegriff Wolffs: Wissenschaft als System.

1. Bedeutungswandel des Wortes «Wissenschaft» (lexikalische Bedeutung). 2. Inhaltliche Neubestimmung des Begriffs: Wissenschaft als Philosophie – Wissenschaft als System. 3. Die Klassifikation der Wissenschaften durch Wolff und der universalen Geltungsanspruch der Wissenschaftssprache – Philosophie als System.

VI. Wolffs Sprachauffassung.

VII. Wolffs Grundsätze der Wissenschaftssprache und ihre praktische Umsetzung.

1. Lexik. 2. Syntax. 3. Der Syllogismus als Denkform und Stilfigur. 4. Werkebene. Vermittlung und Kodifizierung von Wissen – die Doppelfunktion der deutschen Werke Wolffs als Lehrbücher und als Lexikon.

VIII. Die Leistungsfähigkeit von Sprache und Denkform

1. Die Übertragung von Denkform und Stil im Bereich der «Volksaufklärung». Wolffs «Getreideschrift» als Beispiel für die beginnende Verwissenschaftlichung der Alltagswelt.
2. Vorbildfunktion und Wirkung seiner Wissenschaftssprache: Johann Friedrich Neumann (Landwirtschaft), Adam Kulmus (Anatomie) und Tobias Mayer (Mathematik, Geographie).

Zusammenfassung. Literaturverzeichnis.

6) **Otto Jespersen. MANKIND, NATION and INDIVIDUAL from a linguistic point view. Bloomington, 1964**

I. Speech and Language. II. Influence of the Individual. III. Dialect and Common Language. IV. Dialect and Common Language (concluded). V. Standards of Correctness. VI. Correct and Good Language; VII. The Stratification of Language. VIII. Slang. IX. Mystification of Language. X. Other Eccentricities of Language. XI. Conclusion: Universal Human Elements. Abbreviations of Book Titles.

Блок 2

а) **Очерки истории культуры славян. – М., 1996.**

Предисловие. Часть I. Культура славян в древнейший период их истории. Очерк 1. Происхождение славян и местонахождение их прародины. Расселение славян в V–VII вв. В.В. Седов. Очерк 2. Материальная культура древних славян по данным праславянской лексики. А.Ф. Журавлев. Очерк 3. Религиозные верования древних славян. Язычество древних славян. Н.И. Толстой. Боги древних славян. В.Н. Топоров. Низшая мифология славян. Е.Е. Левкиевская. Очерк 4. Древнейшие черты славянской народной традиции. Л.Н. Виноградова, Н.И. Толстой. Часть II. Культура славян в период раннего Средневековья. Очерк 1. Новые явления в материальной культуре древних славян в эпоху раннего Средневековья. В.В. Седов. Очерк 2. Формирование государственности и зарождение политической мысли у славянских народов. Б.Н. Флоря. Очерк 3. Проблемы восприятия славянским миром христианской культуры византийского и латинского круга. Славяне и культура христианского мира в эпоху раннего Средневековья. Принятие славянами христианства. Б.Н. Флоря. Переводная литература у южных и восточных славян в эпоху раннего Средневековья. С.А. Иванов, А.А. Турилов. Очерк 4. Возникновение литературного языка и художественной культуры в первых славянских государствах. Возникновение славянской письменности. Исторические условия ее развития. Б.Н. Флоря. Кирилл и Мефодий как создатели первого литературного языка славян. Е.М. Верецагин. Берестяные грамоты. В.Л. Янин. Литература Великой Моравии. Б.Н. Флоря. Болгарская литература в IX–XII столетиях. И.И. Калиганов. Зарождение сербской и хорватской литературы. Л.К. Гаврюшина. Чешская и польская литература в X–XII вв. В.В. Мочалова. Древнерусская литература. О.В. Творогов. Архитектура, живопись и музыка славянских народов до конца XII столетия. А.И. Рогов. Очерк 5. Формирование славянских народностей. Их этническое самознание в эпоху раннего Средневековья и перспективы его дальнейшего развития. Б.Н. Флоря. Очерк 6. Дифференцирующие и интегрирующие процессы в культуре славянских народов эпохи раннего Средневековья (культура и различные слои общества). Б.Н. Флоря. Очерк 7. На путях к культуре развитого феодального общества. Новые явления в культуре славянского мира в XIII веке. Зарождение славянских литературных языков (до XIII века). А.Ц. Цуличенко. Болгарская литература. И.И. Калиганов. Сербская и хорватская литература. Л.К. Гаврюшина. Чешская и польская литература. В.В. Мочалова. Древнерусская литература. О.В. Творогов. Архитектура, живопись и музыка славян в XIII в. А.И. Рогов. Библиография. Иллюстрации.

б) **Linguistik der Wissenschaftssprache (Forschungsbericht 10). Hrsg. von Heinz L. Kretzenbacher und Harald Weinreich. – Berlin, New York, 1995.**

Vorbemerkung. H.L. Kretzenbacher: Wie durchsichtig ist die Sprache der Wissenschaften? **U. Ricken:** Zum Thema Christian Wolff und die Wissenschaftssprache der deutschen Aufklärung. **B. Durand-Sendrail:** Die Wissenschaftssprache ist keine Sprache. Paskals «De l'Esprit géométrique». **U. Pörksen:** Freuds **Kleiner Hans** als linguistische Kriminalnovelle. **A. Kuenkamp:** Psychoanalyse ohne Seele? Zur englischen Übersetzung der psychoanalytischen Terminologie Sigmund Freuds. **H. Weinreich:** Wissenschaftssprache, Sprachkultur und die Einheit der Wissenschaften. **H.L. Kretzenbacher / M. Thurmair:** «sicherlich von Interesse, wenngleich...» **A. Zimmermann:**

Laudationes auf Wissenschaftler. M. Thurmair: Doppelterminologie im Text, oder hydrophob ist wasserscheu. J. Schiewe: Sprache des Verstehens – Sprache des Verstandenen. Martin Wagen-scheins Stufenmodell zur Vermittlung der Fachsprache im Physikunterricht. L.M. Eichinger: Syntaktischer Wandel und Verständlichkeit. Zur Serialisierung von Sätzen und Nominalgruppen im frühen Neuhochdeutschen. K. Ehlich: Die Lehre der deutschen Wissenschaftssprache.

E. Ventola: Englisch als lingua franca der schriftlichen Wissenschaftskommunikation in Finnland und in Deutschland. Register. Personenregister. Sachregister.

6) Jerry A. Fodor / Jerrold J. Katz. The Structure of Language. Readings in the Philosophy of Language. – New Jersey, 1964

I. INTRODUCTION. LINGUISTIC THEORY. 1. *The problem of Meaning in Linguistics.* Willard V. Quine. 2. *Distributional Structure.* Zellig S. Harris. 3. *Current Issues in Linguistic Theory.* Naom Chomsky. 4. *On the Notion «Rule of Grammar».* Naom Chomsky. 5. *Limitations of Phrase Structure Grammars.* Paul M. Postal.

II. GRAMMAR. 6. *Co-occurrence and Transformation in Linguistic Structure.* Zellig S. Harris. 7. *A Transformational Approach to Syntax.* Naom Chomsky. 8. *Negation in English.* Edward S. Klima. 9. *On the Bases of Phonology.* Morris Halle. 10. *Phonology in Generative Grammar.* Morris Halle.

III. EXTENSIONS OF GRAMMAR. 11. *Discourse Analysis.* Zellig S. Harris. 12. *Degrees of Grammaticalness.* Naom Chomsky. 13. *On Understanding «Understanding Utterances».* Paul Ziff. 14. *Semi-sentences.* Jerrold J. Katz.

IV. SEMANTICS. 15. *Foundation of Logic and Mathematics.* Rudolf Carnap. 16. *The Need for Abstract Entitels in Semantic Analysis.* Alonzo Church. 17. *Speaking of Objects.* Willard V. Quine. 18. *Meaning and Translation.* Willard V. Quine. 19. *The Structure of Semantic Theory.* Jerrold J. Katz and Jerry A. Fodor. 20. *Analyticity and Contradiction in Natural Language.* Jerrold J. Katz.

V. PSYCHOLOGICAL IMPLICATIONS. 21. *A Review of B.F. Skinner's Verbal Behavior.* Naom Chomsky. 22. *The Capacity for Language Acquisition.* Eric H. Lenneberg. 23. *Speech Recognition: A Model and a Program for Research.* M. Halle and K.N. Stevens.

Простое сравнение структуры монографий, входящих в эти два блока, показывает определенные различия между ними. Первый блок монографий представляет собой целостный текст, где предшествующее и последующее, объединенное содержательно и структурно, связано друг с другом и коммуникативно, то есть на уровне намерения говорящего, замысла и темы. Второй же блок монографий представляет собой лишь структурное и логическое единство, однако коммуникативная целостность представленных в них макротекстов является условной. Это подтверждается и в заглавии: для второго блока монографий авторы выбрали определение – Очерки..., Forschungsberichte и Readings. Эти названия и добавления к названиям однозначно маркируют наличие ряда авторов. Налицо и нарушение симметрии в организации макротекстов – второй блок монографий, в отличие от первого, распадается на целый ряд различных по тематике фрагментов внутри главы. В целом подобные монографии чаще всего являются междисциплинарными, они существуют в зоне пересечения многих отраслей знания, как, например, второй блок монографий, включающий в себя исследования по археологии, этнографии, этнологии, филологии, искусствоведению и философии. По характеру представления содержания можно выделить также несколько разновидностей монографии: монография, рассматривающая объект исторически; теоретическая монография, рассматривающая определенный объект как систему; дискуссионная, или концептуальная монография, формирующая новую систему. Мы полагаем, что данные внутрижанровые разновидности определяют характер построения микро-текстов (описательных или рассуждающих). В них по-разному может проявиться личность автора: так, если в первых двух подвидах автор, излагая материал, опирается на предшествующий контекст, так или иначе учитывает его в своей работе, то и в изложении фактов он иногда может позволить себе высказываться от имени абстрактной группы лиц. В третьей же разновидности автор отталкивается от предыдущего контекста, оценивает его и на основе этой оценки выстраивает свою концептуальную картину, – следовательно, он не имеет возможности скрыться, излагать анонимно, и такая работа обязательно будет отличаться внутренней эмотивностью, оценочностью.

Жанром, типологически родственной монографии, является диссертация, хотя последняя представляет собой макротекст более жестких форм. Это объясняется тем, что интенциональные характеристики данного жанра более узки. Если монография создается с учетом множества интенций: «проинформировать, убедить, доказать, описать, обобщить, дифференцировать, классифицировать», то в диссертации любая из них дополняется следующей – «доказать, что это верно, истинно», «убедить читателя в несомненности заслуг автора текста». Второе важное отличие диссертации заключено во внешних контекстуальных условиях: первичная реализация и восприятие данного текста сопряжены с необходимым «протоколом», принятым в данной сфере деятельности. Диссертация представляет собой текст, который необходимо сопровождать целой группой текстов других жанровых и стилевых разновидностей – доклад (на обсуждении и церемонии защиты), научная полемика, автореферат, справки, тезисы и т.д. Эти сопровождающие тексты являются «вторичными», они неразрывно связаны с основным текстом диссертации; но при его создании автор не может не иметь в виду обязательности перечисленных выше текстов «сопровождения». Иными словами, субъект речи с самого начала, с момента формирования замысла знает, что он должен защищать, отстаивать истинность, обоснованность каждого положения своей работы, каждого фрагмента своего текста, и эта «личная заинтересованность автора» обязательно сказывается на содержательной и структурной стороне диссертации. Диссертация всегда более сдержана в оценке, при этом субъект речи необходимо присутствует в семантической ткани высказывания, хотя он и скрыт за суждениями общего типа. Микротексты описательного плана уступают ведущую роль рассуждающим, а также обобщающим текстам; чередование текстов различных типов более «ритмично», и этот ритм задан формуляром диссертации: введение – глава (параграф... параграф...) – глава – ... – заключение – библиография – приложение. В технических и естественных отраслях знания диссертацию, скорее, следует отнести к научно-информационному подстилю, она более близка по форме развернутому научному отчету, так как представляет собой жесткую структуру, отступление от которой практически невозможно. Эта структура организована таким образом, что сам диссертационный текст представляет собой не исследование, а отчет о проведенном исследовании, аналитических и экспериментальных методах и полученных результатах. Можно предположить, что через несколько десятилетий гуманитарные диссертационные тексты приблизятся к естественно-научным и будут представлять собой строгий формуляр с заполняемыми переменными. Так, текст введения постепенно становится идентичным документу информационного характера типа справки, выводы к главам и заключение все больше походят на тезисы, приложения строятся в таблицах и схемах. Во многих отраслях гуманитарного знания для диссертации становится необходимым экспериментальный фрагмент (социология, психология, прикладные гуманитарные дисциплины), где необходимо описание целевых, методологических и методических основ эксперимента и обобщение его результатов.

Между жанрами монографии и диссертации очень много общего, однако нельзя не отметить и явные различия. С одной стороны, это контекстуальная «первичность» монографии и научной статьи, цель которых – научное представление и описание объекта или концепта действительности. Для диссертации, напротив, более важным является выявление степени участия автора в получении определенных научных результатов, определение его заслуг. С другой стороны, докторская диссертация практически невозможна без соответствующих монографических исследований. Она может рассматриваться как макротекст определенной иллюкутивной силы лишь в контексте монографии или нескольких исследований монографического характера. Кандидатская диссертация как макротекст существует в обширном контексте множества статей и монографий различных авторов, зачастую вторична по отношению к ним, однако напрямую не соотносится ни с одним из макротекстов. Поэтому следует признать относительную самостоятельность диссертационного жанра, отметив его неразрывную связь с жанрами монографии и научной статьи.

Научную статью мы считаем основным и наиболее частотным жанром академического и технического подстилей. Это самый свободный жанр, так как его параметризация не ограничивает субъекта речи ни в выборе и структурировании содержания материала, ни в логической организации текста, ни в его коммуникативном развертывании, ни в выборе темы. Строго говоря, научную статью можно назвать свободным жанром в научном стиле, так как при последовательном сопоставлении ее с другими жанрами этого ФС мы увидим, что она абсолютно ничем не ограничена ни по типу реализуемых коммуникативных намерений, ни по ролевым особенностям автора текста. Эти яркие отличия находят свое выражение, прежде всего, в разнообразии вариаций данной жанровой формы. Так, Е.С. Троянская (1985) выделяет семь разновидностей статьи: сжатое сообщение фактов; развернутое изложение научных результатов; научно-методическая статья; историко-научная статья; теоретическая статья; дискуссионная статья; рекламная статья. Т.Н. Мальчевская (1976) особо выделяет специальную статью-описание, обзорную статью, обобщающую статью. В.В. Одинцов (1980) особо выделяет техническую статью и подобное. Ю.А. Васильев, руководствуясь положением о теоретической, практической и информативной направленности содержания, выделяет теоретическую, методическую и техническую статью [3; 4]. Такое разнообразие мнений исследователей обусловлено, прежде всего, свободой этого жанра, его высокой степенью вариативности.

По своим прагматическим особенностям семантика и структура статьи связаны с условиями коммуникации: в данном случае условно допустима ситуация, в которой данный текст порождается в течение одного коммуникативного акта, хотя на практике, как мы знаем, подобное бывает редко. Однако восприятие текста часто осуществляется именно за один коммуникативный акт, поэтому статья как макротекст более целостна, слитна, ее структурные части тесно связаны между собой, рассмотрение их вне окружения других частей просто невозможно. С другой стороны, в частях статьи практически не встречаются повторы, намного реже содержатся апелляции к последующим и предыдущим частям, так как в этом нет необходимости, в отличие от монографии, где постоянно приходится восстанавливать в памяти адресата темы и содержание предшествовавших фрагментов текста для того, чтобы ввести какую-либо новую пропозицию.

С позиций логико-смысловой организации текста статьи нам представляется возможным выделить в этом жанре две разновидности – информирующая статья и концептуальная статья. Первая посвящена детальному анализу какой-либо частной проблемы, описанию какой-либо системной оппозиции, связи, формулированию определенного вывода и оценки. С этой точки зрения она может быть соотнесена с большими жанрами монографии и диссертации, ее отличие лишь в иллюкутивной силе: содержательной и семантической сложности. Она также самостоятельна в окружающем контексте, хотя и может быть включена в более крупный макротекст. Отдельные разделы коллективной монографии, посвященные какой-либо общей проблеме и рассматривающие частные ее аспекты, можно выделить в качестве самостоятельных статей исследовательского плана. Информативная статья в нашем понимании соотносится с методической и технической статьей в трактовке Ю.А. Васильева, научно-методической, историко-научной, расширенной информативной статьями в трактовке Е.С. Троянской. Выделение нами именно двух видов статей основывается, прежде всего, на двух типах мышления – репродуктивном и продуктивном. Представленные типы статьи опираются так или иначе на внешний научный контекст и в той или иной степени репродуктивны.

Статья-концепция представляет собой интерпретацию проблемы, особый взгляд на какую-либо крупную, актуальную научную проблему, она представляет читателю авторские мысли и комментарии по поводу чего-либо. Данный вид статьи опирается на творческий, продуктивный тип мышления, она оперирует общенаучными понятиями и положениями в целях получения нового знания, поэтому ее можно соотнести с теоретической и дискуссионной статьями у Е. С. Троянской и Ю. А. Васильева. Семантическая структура концептуальной статьи более сложна, так как в ней содержится масса апелляций и отсылок к другим текстам, большой

иллюстративный материал, оформленный в виде цитат или отвлечений, интродукций. В этом отношении ее содержание обусловлено огромным количеством других текстов. Ее адекватное восприятие возможно лишь при абсолютно равных пресуппозициях участников коммуникации, совпадении дисциплинарных тезаурусов коммуникантов. Концептуальная статья не просто информативна, она содержит в себе элементы научной полемики, поэтому она включает в себя эмотивные оценки, отдельные ее фрагменты могут быть экспрессивны. Автор такой статьи всегда определен, читателю абсолютно ясны его восприятие и оценка предмета речи. Эта разновидность статьи ставит перед собой цель воздействовать на читателя, побуждает его к научной дискуссии, к живому обсуждению вопроса, стремится вызвать обратную реакцию. Следовательно, она не только в значительной степени контекстуально обусловлена, но представляет собой определенный элемент в бесконечной цепи высказываний. Такая прагматическая характеристика заставляет предположить и принципиально иную структуру текста, которая призвана утверждать и опровергать те или иные факты. Помимо всего, такая статья несет в себе большое количество вторичной текстовой информации. Так, критика и несогласие здесь чаще всего выражаются с помощью неуверенности, опасения; сожаление смягчает категоричность оценок; указание на сложность намекает на нерешенность проблемы и т.д.

Таким образом, можно отметить, что обе разновидности данного жанра несколько различаются и по интенциональным характеристикам: если информирующая статья стремится «сформировать общую картину», продемонстрировав состав и характер внутрисистемных отношений, «убедить и доказать», продемонстрировав пути получения данного знания, то статья-концепция пытается «переубедить», «изменить уже сложившееся представление читателя об объекте», «навязать новую методику изучения», указав на недостатки, неточности, или «разубедить», продемонстрировав ложность, ошибочность имеющихся доказательств. Она всегда является реакцией на какое-либо другое или другие высказывания и одновременно стимулом к последующим высказываниям, поэтому она полифункциональна, более близка к научно-разговорному подстилю, к научной полемике, так как содержит оценки и мнения. Субъект концептуального высказывания не только не стремится скрыть, «закодировать» свое авторство, но, наоборот, обнаруживает его с первых строк текста. Часто суждения, высказываемые в такой статье, опираются не на факты, а на мнения, что делает данный поджанр несколько оригинальным, отличающимся от других научных жанров. Необходимо заметить, что жанровая разновидность концептуальной статьи может некоторым образом коррелировать с фрагментом монографии, – чаще всего это вводная часть, или предисловие, или введение к одному из разделов.

Основными жанрами учебного научного подстиля нам представляются учебник, учебное пособие, учебная статья. Все три жанра чрезвычайно сильно связаны между собой, так как имеют общие прагматические целеустановки. Общая цель учебного текста научного стиля, как и всего процесса обучения, – «научить». Данная цель в модели учебной коммуникации является главным и определяющим фактором, детерминирующим, в конечном итоге, структуру и типологию учебника, учебного пособия и учебной статьи в целом. Эта общая цель, стоящая перед автором высказывания, распадается на ряд более мелких целеустановок: передача и закрепление информации; побуждение к действию, выражающемуся в понимании, усвоении и закреплении информации; облегчение восприятия. Помимо указанных, учебный подстиль предполагает и еще целый ряд второстепенных целей, связанных с овладением нормами поведения в научной и профессиональной сферах общения, что можно назвать еще и формированием коммуникативной и профессиональной компетенции. Общая цель реципиента – «научиться». Данная цель включает в себя следующие намерения: воспринять, понять, запомнить, редуцировать, интерпретировать, трансформировать информацию, а также ретранслировать ее с максимальной точностью (как содержательной, что связано с овладением определенным запасом знаний, так и внешней, формальной, что предполагает достижение достаточного уровня компетентности для дальнейшего обучения и занятости в избранной сфере деятельности).

Целеустановки автора и реципиента выступают в пределах учебного макротекста комплексно, в совокупности, однако в конкретной его части возможно преобладание того или иного речевого намерения автора и реципиента, которые представляют собой взаимосвязанное единство, например: «передача информации» рассчитана на ее восприятие; «усвоение информации» – на понимание, и т.д. Все эти взаимосвязанные пары целеустановок автора и реципиента обусловлены ведущей целеустановкой, формирующейся на этапе зарождения замысла высказывания и постоянно корректирующей смысловую и структурную его организацию, которую можно условно обозначить как «облегчение восприятия». Данные типовые интенции, формируемые сферой деятельности, характером учебного процесса, лежат в основе структуры и типологии учебных научных текстов. Поэтому основные жанры этого подстиля и различаются между собой лишь в незначительной степени – прежде всего, они дифференцируются по количеству и качеству информации (ее тематической, содержательной и структурной сложности), контекстуальной обусловленности, структурной организации. Эти различия находят выражение в сложившейся в государстве учебной практике. Так, учебник является книгой, помогающей адресату усвоить содержание определенного курса, определенной научной дисциплины; учебное пособие помогает освоить какой-либо фрагмент данного курса, спецкурс, факультатив; учебная статья – конкретный вопрос, проблему, представленные в программе курса.

Однако обозначенные нами различия выражаются не только в объеме, но и в различной значимости текстов, что оказывает влияние на учебную практику реципиента. Так как тексты учебника являются обязательными, заменить их могут только тексты другого учебника; тексты же учебного пособия и статьи являются факультативными, а иногда и вторичными; учебник является для них обязательным контекстом, без него их содержание фрагментарно, бессистемно. Текст какой-либо учебной статьи может рассматриваться как компонент учебника, а текст пособия – как его раздел. Именно на этом основании мы полагаем, что учебник является основным жанром, представляющим учебно-научный подстиль. В доказательство можно привести и тот факт, что при отсутствии учебника по какой-либо дисциплине преподаватель стремится заменить его «списком литературы», обязательной для усвоения, а его лекции выполняют функцию связующего звена, объединяют данные тексты в единый конгломерат макротекстов, в единый контекст.

Композиционное развертывание содержания в учебнике подчинено движению авторской мысли и решению основной цели, стоящей перед автором, – «научить, сделав содержательный материал максимально доступным для восприятия». Поэтому внешняя композиция учебника имеет классическую схему: введение и основная часть, которая членится на разделы, главы, параграфы, обобщающие выводы к главам, разделам. Структура учебника должна не только отражать программу курса, она должна отражать иерархию понятий соответствующей дисциплины, схематично представлять научную дисциплину в целом. Структура каждого раздела, главы, параграфа учебника носит заданный характер и включает в себя следующие элементы: 1) квалификация, характеристика объекта; 2) объяснение квалификации путем иллюстраций, демонстрации основных функций и установления нового знания логическим путем; 3) обобщение, выражающееся в формулировках, градуировании, сравнении, сопоставлении и оценке; 4) дирекция и коррекция материала в обобщающем заключении; 5) комментирование содержательной части и способов получения представленных выводов. Комбинаторика этих элементов определяется темой, денотатом которой выступает определенный объект – научное понятие, категория, явление, она различна в различных композиционных частях учебника.

Сложившаяся композиция учебного пособия во многом напоминает композиционное построение учебника, так как первое во многом имитирует учебник, однако его факультативность, дополнительность по отношению к учебнику во многом определяют и его более свободное построение, большую частотность в его структуре комментариев, описаний, иллюстративного материала. Значительную часть пособия занимает корректирующий материал, по-новому представляющий объект изучения.

Учебная статья, представляющая в содержательном плане лишь отдельный фрагмент в комплексной характеристике объекта, по своей композиции повторяет, как правило, структуру параграфа учебника, композиционно оформленную в зависимости от темы и пропозиции. Программа как жанр научной лингвистической литературы находится на стыке трех основных подстилей функционального стиля – академического (так как определенным образом компактно представляет знания о предмете или системе), научно-учебного (так как излагает материал в учебных целях), научно-информационного (так как помимо информации содержательного материала включает информацию предписывающего, нормативного характера и отличается строгостью структуры). По своим коммуникативным, структурным и синтаксическим особенностям программа наиболее близка научным информационным жанрам, так как в основе ее лежит компрессия, свертывание предикативных конструкций в номинативные и релятивные.

Жанры научно-информационного подстиля более разнообразны. К ним следует отнести тезисы, аннотацию, реферат, автореферат, научную документацию (план, отчет, служебная записка, обоснование и др.), отзыв на что-либо, статью в лексикографическом издании энциклопедического типа и др. Основная цель текстов данного подстиля – «сообщение научной информации с максимально точным объективным описанием имеющихся фактов и (что важнее) правовая, юридическая защита этой информации... Здесь обязательно наличествует стереотипность композиции, максимальная стандартизация языковых средств, обилие штампов и устойчивых оборотов, унификация синтаксических конструкций» [8; 13]. На формирование и развитие данного подстиля огромное влияние оказывают однотипные тексты других областей знания, которые в гораздо большей степени подверглись влиянию со стороны соответствующих жанров официально-делового стиля и практически превратились в тексты-документы (в основном это относится к научно-техническим и естественно-научным текстам). Жанры научно-информационного подстиля наглядно демонстрируют одну из тенденций развития научного стиля – дифференциацию жанровых форм, с одной стороны, и стандартизацию отдельной формы – с другой. Благодаря расширению функций стереотипов многие из жанров с течением времени начинают представлять собой жесткий формуляр, в котором для свободного заполнения остаются лишь несколько переменных позиций. Ряд жанров, прежде всего – научная документация, постепенно выходят за рамки научного стиля, превращаются в чисто деловые. Наибольший интерес в данной подгруппе представляют следующие жанры: тезисы, сжатая статья в специальном издании, реферат, аннотация, рецензия. Из них два первых жанра мы бы назвали основными, а два последних вторичными, так как при определенных условиях и аннотацию, и реферат можно рассматривать как отдельные разновидности информационной статьи. Интенциональная характеристика последней нам представляется следующей: дать полную и максимально объективную информацию в краткой форме. Для сжатой статьи в специальном издании мы выделяем следующие жанровые разновидности – статья-обзор, статья-реферат и статья-аннотация. По семантико-структурным характеристикам аннотацию следует охарактеризовать как прямое, непосредственное описание пропозиции какого-либо высказывания. По своему содержанию она вторична, всегда находится в отношениях прямой зависимости к тексту другого жанра – монографии, статье, учебнику; ее цель – объективно информировать о каком-либо другом тексте, поэтому и рассматривать ее необходимо только в соотношении с ним. Композиционно аннотация представляет собой небольшой микротекст, тип которого носит чаще всего описательный характер.

Статья-обзор и статья-реферат очень близки друг другу, они различаются лишь смысловой организацией: первая включает в себя информацию о группе текстов общей тематики, а также определенную оценку изложенного в ней материала с позиций научной ценности, вторая – более развернутую информацию (по сравнению с аннотацией) об одном макротексте (монографии, диссертации, статье). Композиционная структура их одинакова: она содержит описание и умозаключение обобщающего характера. Нередко обзор и реферат могут совмещаться в рамках одной информационной статьи, включающей описание и умозаключение; чаще всего

такого типа статьи употребляются в энциклопедических и научных словарях, изданиях справочного характера. Однако статья-обзор несколько отличается от предыдущих тем, что все оценки и умозаключения излагаются в ней с позиций автора текста. В этом плане она по структурно-содержательным особенностям близка к рецензии и рекламной статье, но если последняя относится к научно-популярным жанрам, то есть публицистике, то первая представляет собой особую жанровую разновидность научного стиля. В этом жанре научной прозы преобладает оценочная информация, так как автор стремится убедить читателя в правильности своей оценки изложенного в какой-либо работе материала. Все эти жанры и их разновидности могут употребляться в качестве топики в рамках макротекста академического жанра – монографии, статьи.

Жанр тезисов является по происхождению также вторичным текстом. Композиционная форма тезисов такова – последовательное сочетание небольших микротекстов со сложной типологической организацией, так как даже описательные структуры содержат в себе элементы размышляющих типов текстов. Тезисы также могут выступать в качестве топика в разделе выводов к монографии, диссертации, а также в качестве компонента автореферата. Отличительная черта этого жанра – высокий уровень компрессии материала: большинство предикативных конструкций в этом случае трансформируются в атрибутивные или адverbиальные и дополняют наиболее важную, с точки зрения автора, основную пропозицию. Связь между структурными элементами такого текста имплицитна и выражается лишь порядком следования, который выполняет в данном случае не только связующую, но и структурно-организующую функцию.

Автореферат является особым жанром научно-информационного подстиля, по происхождению он также вторичен – он создается на основе диссертации тем же субъектом речи. Структура его является жесткой. Первая часть автореферата представляет собой аннотацию – формуляр с обозначенными заранее темами микротекстов, вторая его половина является собственно рефератом текста диссертации.

Таким образом, все жанры научно-информационного подстиля отличает еще и то, что генетически все они вторичны и восходят к какому-либо макротексту или целой группе макротекстов, изложение пропозиций которого (которых) они собой представляют.

В числе жанров научно-разговорного подстиля считаем нужным выделить два основных – доклад, представляющий монологическую речь, и полемический жанр, представляющий диалогическую речь, поэтому между ними наблюдаются существенные различия. Доклад представляет собой развернутое высказывание на определенную тему, целеустановка которого – «информировать, убедить, доказать, проиллюстрировать, объяснить» – в целом соотносится с основными интенциями жанров академического подстиля; предполагаемая интенция адресата – «усвоить, понять, согласиться/не согласиться с мнением докладчика». В качестве одной из разновидностей доклада может рассматриваться лекция, цель которой – «информировать, объяснить, проиллюстрировать, продемонстрировать, обобщить и т.д.». Полемический жанр «дает оценку, приводит аргументы; сообщает нечто, что должно разубедить, переубедить слушающего; вызывает ответную реакцию реципиента». В нем превалирует убеждающая информация и функция воздействия на адресата. Полемическое высказывание всегда принадлежит конкретному субъекту речи и рассчитано на конкретного реципиента или группу. Отдельные смысловые куски высказывания могут быть опущены, не выражены эксплицитно, так как фоновые знания участников коммуникативного акта равны. Текст постоянно апеллирует к другим текстам, а подтекст в полемическом жанре чаще по иллюкутивной силе превышает смысловой объем текста. Поэтому для этого жанра характерна особая структура: субъект речи стремится убедить в истинности своей точки зрения не оппонента, но аудиторию слушателей, и постоянно использует особые приемы, на первый взгляд, смягчающие категоричность оценки. Однако сформировавшиеся в ходе развития жанра стереотипные реакции позволяют слушателю интерпретировать содержание более глубоко и адекватно воспринимать имплицитные авторские оценки. Например, если говорящий указывает на сложность проблемы, то это означает, что оппоненту не удалось ее решить; если говорящий выражает неполную уверенность, сомнение в

результатах исследования, то аудитория воспринимает их как общее отрицание этих результатов, и т.д. Таким образом, полемический разговорный жанр отличается еще и обязательным присутствием стереотипных конструкций, выполняющих оценочные функции. «Готовые языковые формулы способствуют общепонятности текстов. Общезначимость информации требует некоторой стандартизации ее формы» [5: 138].

Однако у обоих жанров есть нечто общее, объединяющее их. Они оба рассчитаны на слуховое восприятие, их структура более проста, композиционные формы, выстраивающие тексты, более типологически яркие, в их составе преобладают простые синтаксические конструкции, так как всегда имеется возможность использовать различные интонационные средства для актуального членения высказывания.

Итак, различные подстили научной речи включают в себя большое количество жанров: монография, диссертация, статьи (информирующие, концептуальные, сжатые), учебник, учебное пособие, тезисы, автореферат и многие другие. Для представленных жанров дифференциальными служат следующие критерии: членимость – нечленимость в плане организации макротекста (где сильным членом оппозиции выступает последний), а также первичность – вторичность (= прямая зависимость, производность от какого-либо другого текста). Так, монография является членимой и первичной, статья – нечленимой и первичной, аннотация – нечленимой и вторичной, учебник – членимым и первичным, и т.д. [1].

Эти жанры имеют огромное число реализаций в истории русского и немецкого языков, весьма частотны в современном их состоянии, обладают узнаваемой исторически сложившейся структурой, причем многие из них – весьма жесткой. Нетрудно заметить, что представленные жанры могут объединяться не только в рамках подстиля, но и помимо него, на основе структурно-смыслового критерия. Например, монография весьма отчетливо соотносится с учебником, диссертация – с учебным пособием; информативная и концептуальная статья – с учебной статьей, тезисами, докладом, лекцией; аннотация – с монографией и учебником; автореферат – с диссертацией; статьи научно-информационного подстиля – с целым рядом статей и монографий. Это обусловлено тем, что жанры учебно-научного, научно-разговорного и научно-информационного подстилей суть стилевые вариации основных жанров академического подстиля, который, по нашему мнению, не только образует ядро в числе всех научных лингвистических текстов, но и является коммуникативно-прагматическим образцом, формирует те стереотипы производства и восприятия текстов, которые существенно облегчают процесс коммуникации в научной сфере, в том числе и на уровне текстообразования и текстопостроения, создает тот набор прагматических критериев, которые с незначительными вариациями образуют прагматику языковой личности как норму коммуникативного поведения индивида.

В связи с вышеизложенным можно сделать следующие выводы:

1. Сфера научной деятельности имеет ряд особенностей, которые позволяют отличать ее от других сфер: по типу деятельности это, прежде всего, мыслительная деятельность на основе рациональной программы; по характеру деятельности она представляет собой теоретический, творческий, продуктивный вид мышления, нацеленный на выработку нового знания о мире. Основным результатом такой деятельности является научный текст, представляющий содержательную информацию в форме объективной, свернутой экспликации, характеризующейся высокой степенью обобщения. Научная деятельность осуществляется в форме постоянно сменяющихся друг друга коммуникативных актов, которые могут быть описаны в виде стандартных речевых ситуаций. Стереотипность речевых ситуаций научной сферы создается на основе наиболее частотных интенций: информация об объекте, коррекция информации (ее углубление, расширение, конкретизация); убеждение в истинности знания об объекте. Она создается также на основе особых ролевых позиций участников – абстрактные адресант и адресат, представители научного социума, обладающие примерно равным понятийно-смысловым и прагматическим тезаурусами.

2. Узус научной сферы общения в максимальной степени представлен в научных текстах и описывается в рамках прагматических особенностей научного стиля речи, который характеризуется нейтральной экспрессией, выражающейся в различного рода интеллектуальных оценках по преимуществу объективного характера. Отмечающаяся монолитность, целостность научного стиля ни в коей мере не разрушается его структурным членением на ядро (академический и технический подстили) и периферию (учебный, информационный и разговорный подстили). Стилевая парадигма в этом случае строится на основе следующих признаков: монополиинтенциональность (доминирующий тип интенции или несколько типов); включённость/невключённость в речевую ситуацию (имитация условий общения).

3. Отмеченная внутрестилевая парадигма служит постоянному развитию стиля, которое осуществляется, во-первых, на основе взаимодействия периферийных подстилей с другими стилями (учебно-научного с научно-популярным и научной публицистикой; научно-информационного с официально-деловым); во-вторых, на основе авторских инноваций как в собственно языковом, так и в прагматическом аспектах в рамках академического подстиля (подмена абстрактного адресанта конкретно-личностным, введение новых речевых стандартов), и т.д.

4. Жанровые формы научного стиля тесно связаны с внутрестилевой парадигмой и обусловлены теми же прагматическими характеристиками. Они являются исторически обусловленными и оформляются как общественно осознанное явление, поэтому овладение жанровой парадигмой тесно связано с институционализацией прагматического тезауруса участников научного общения. Предпочтение той или иной форме отдаётся на основании учёта коммуникативного намерения, предметно-логической отнесённости содержания и его структурно-композиционного оформления.

5. В целом, жанровую парадигму научных текстов можно представить следующим образом: её ядро включает в себя первичные тексты, чья зависимость от общего дисциплинарного текстуального контекста определяется общим поступательным ходом развития научной мысли, то есть не прямой, а опосредованной; её периферию образуют так называемые вторичные тексты, то есть зависимые, обусловленные конкретным текстом или группой текстов. К первичным следует отнести монографию, диссертацию, статью, учебник и т.д., к вторичным – автореферат, аннотацию, рецензию и др. В плане структурной организации жанровые формы противопоставляются на основе членимости, то есть содержательной и тематической сложности макротекста. Это свойство позволяет нечленимым текстам выступать в качестве частей или топиков в более сложных, членимых текстах, а также служит сохранению внутрестилевого единства научных текстов различных жанров.

Библиография

1. Аликаев Р.С. Язык в парадигме современной лингвистики. – Нальчик, 1999.
2. Аликаева М.Р. Иностилевые элементы в гуманитарном научном тексте: автореф. дис. ... канд. наук. – Нальчик, 2009.
3. Васильев Ю.А. О влиянии композиционно-смысловой организации текста на его языково-стилистические характеристики // Стиль научной речи. – М., 1978. – С. 75–95.
4. Васильев Ю.А. Семантико-синтаксическая характеристика речевого жанра научной статьи: автореф. дис... канд. филол. наук. – М., 1979.
5. Дридзе Т.М. Язык и социальная психология. – М., 1980.
6. Карасик В.И. Языковая кристаллизация смысла. – Волгоград, 2010.
7. Мальчевская Т. Н. Специфика научных текстов и принципы их классификации // Особенности стиля научного изложения. – М., 1976. – С. 104–116.
8. Митрофанова О.Д. Научный стиль речи: проблемы обучения. – М., 1985
9. Наер В.Л. Прагматика научных текстов (вербальный и невербальный аспекты) // Функциональные стили: лингвометодические аспекты. – М., 1985. – С. 14–26.
10. Одинцов В.В. Стилистика текста. – М., 1980.
11. Троянская Е.С. Особенности жанров научной литературы и отбор тестов на различных этапах обучения научных работников иностранному языку // Функциональные стили. Лингвометодические аспекты. – М., 1985. – С. 189–201.

**РИТОРИЧЕСКИЙ ВОПРОС В КАЧЕСТВЕ ВОПРОСИТЕЛЬНОГО СЕГМЕНТА
ВОПРОСНО-ОТВЕТНОЙ КОНСТРУКЦИИ****Е.А. Балова**

Статья посвящена роли риторических вопросов в формировании такой разновидности экспрессивных синтаксических конструкций, как вопросно-ответная сегментация авторского монолога.

The subject of the paper is a role of rhetorical questions in formation of question-answer segmentation of an author's monologue.

Риторические вопросы, выступающие в качестве сегментов вопросно-ответных сцеплений в рамках механизма диалогизации авторского монолога, все еще остаются недостаточно изученными в плане вывода общих закономерностей их употребления как одного из средств диалогизации в произведениях художественной литературы, – несмотря на то, что их исследование в последнее время ведется по нескольким направлениям. Особенности синтаксического построения данных конструкций также не привлекли пока пристального внимания лингвистов. Таким образом, представляется интересным изучение риторических вопросов в составе вопросно-ответных конструкций, диалогизирующих авторский монолог, как позволяющих наиболее четко, в отличие от иных экспрессивных синтаксических средств, употребляемых в письменной речи (парцеллированных и сегментированных конструкций, лексических повторов и др.), воспроизвести динамику эмоционального и речемыслительного процесса.

Исследователи обычно обращают внимание прежде всего на классическую трактовку использования грамматической формы в несвойственном ей значении – когда вопросительные предложения содержат не вопрос, а утверждение или отрицание в особой вопросительной форме. Этот прием активно применяется в риторике, вследствие чего «любой вопрос в публицистической речи часто называют риторическим» [9]. Очевидно, поэтому многие исследователи считают риторические вопросы всего лишь «аналогом экспрессивно окрашенных повествовательных предложений» [8: 136], усиливающим воздействие речи на слушателей, пробуждающим в них соответствующие чувства (так, Л.В. Федорова вообще исключает риторические вопросы из ряда средств диалогизации монолога). Не зря сам термин «риторический вопрос» часто «...заменяется терминами «псевдовопросительное предложение», «неинтеррогативно-употребленное вопросительное предложение», «экспрессивно-констатирующее вопросительное предложение», «лжевопрос», «ложный вопрос», «мнимый вопрос», «псевдовопрос»...» [2: 4–5].

Однако в современной риторике существует и прямо противоположная точка зрения на риторические вопросы: они характеризуются как «эффективная фигура диалогизации монологической речи, служащая для смыслового и эмоционального выделения ее смысловых центров, для формирования эмоционально-оценочного отношения адресата к предмету речи, а также для представления адресату особенно важных в смысловом отношении этапов рассуждения (доказательства)» [2: 15].

Конечно, обычно риторические вопросы ставятся не для того, чтобы побудить слушателя сообщить нечто неизвестное говорящему. Однако их употребление получило в последнее время широкое распространение как в публицистике и ораторской речи, так и в художественной литературе. Постепенно становится все яснее, что риторические вопросы, в отличие от иных стилистических фигур, заставляют читателя воспринимать информацию, посылаемую автором текста, уже не пассивно, но активно – вовлекая читателя в рассуждение, заставляя самого делать выводы. Они выступают уже не только лишь способом активизации внимания и повышения эмоционального фона, но стилистическим приемом диалогизации монолога.

Характерная особенность риторических вопросов заключается в том, что они не являются вопросами в прямом смысле: в процессе их функционирования условия успешности речевого акта вопроса так или иначе нарушаются. Ср.:

1. *И еще – писателя, как и спортсмена, судят не по массе его труда, а по пикам, рекордам, всплескам. Кто знает, сколько на самом деле поэм сочинил Гомер, сколько шахматных баталий проиграл Ботвинник и в самом ли деле «Повесть о дивизии Котовского» потерялась на почте или же ее попросту выбросили в редакции как безнадежно слабую?* (Ю. Никитин. *Как стать писателем*). Ответ на поставленный вопрос не известен ни автору, ни читателю – таким образом, речевой акт не может рассматриваться как попытка получить неизвестную доселе информацию.

2. *В тот момент я и поняла, что это тот, кого я искала всю жизнь. Если уж парень в свои двадцать с чем-то лет ведет себя как настоящий академик, то что же будет в тридцать–сорок? Нобелевская премия, не меньше.* (А. Экслер. *Записки невесты программиста*). Отсутствует диалогический партнер: автор задает вопрос и сам же на него отвечает, таким образом, нарушается и формальная структура «безответного» риторического вопроса; при этом вопрос, формально выражая требование информации, жестко определяет структуру возможного ответа, и естественные связи между сегментами высказывания не нарушаются.

3. *«Ну я и влипла, что за невезение!» – молча возмущалась она, рисуя бессмысленные закорючки на листе черновика. Как можно вообще включать в экзаменационные билеты вопросы, которых не было в учебнике? А если и были, то исключительно «почитать для общего ознакомления». Вот и почитали.* (А. Мазин, А. Гурова. *Малышка и Карлссон*). Вопрос воспринимается как экспрессивно окрашенное утверждение, усиливающее воздействие речи на слушателей, пробуждающее в них соответствующие чувства – и вроде бы не требует ответа, но на самом деле содержит его в себе имплицитно («как можно?..» = «никак нельзя!»).

Совпадая по внешнему грамматическому оформлению с обычными вопросительными предложениями, риторические вопросы отличаются яркой интонацией, выражающей крайнее напряжение чувств. Введенные в состав авторского монолога, они становятся интонационным центром высказывания. См., например:

На подоконнике встопорщилась, как задранные лапки жука, распечатанная коробочка анальгина. Когда и распечатал, не заметил. Все на алгоритмах разумоносителя. Голова горячая, словно полдня пролежал под светом этой звезды. Зачем, зачем-то ж меня сюда забросили?! Что я должен сделать? Что выполнить? (Ю. Никитин. *Я живу в этом теле*). Вопросы, пунктуационное оформление которых включает в себя сочетание вопросительного и восклицательного знаков, сближаются с риторическими восклицаниями; восклицательная интонация в подобных примерах «отражает скорее дополнительный нюанс эмоциональности к риторическому вопросу» [1: 202].

Отдельно, по нашему мнению, следует рассматривать построения, которые, обладая всеми формальными признаками риторического вопроса в плане семантических и коммуникативных особенностей, все же грамматически выражены формами повествовательного высказывания. Ср.:

1. *Ну и клиенты соответствующие... Стоит ли говорить, какую искреннюю радость испытывал я, московский мальчик из небогатой, но интеллигентной семьи, общаясь со всем этим сбродом ежедневно, во время «полевых инспекций»? Моя работа не предполагала долгих чаепитий с руководителями больших розничных сетей вроде «Седьмого континента» или «Ашана»...* (С. Минаев. *Р.А.Б.*). Это классический риторический вопрос, который легко может быть подвергнут трансформации в нейтральную фразу («Не стоит говорить, что я <...> не испытывал искренней радости») – частица «ли» в связи с этим утрачивает значение некатегоричности, и все выражение обретает однозначное значение отрицания («стоит ли?..» = «не стоит»).

2. *Никаких скидок, а уж тем более квартальных бонусов таким клиентам не полагалось. Стоит ли говорить, что подобные открытия еще больше распаляли проверяющих, убеж-*

дая их в правоте подозрений. К середине месяца аудиторы уже общались с нами как с потенциальными уголовниками. (С. Минаев. Р.А.Б.). В этом примере – иная ситуация. Автор (возможно, сознательно желая заметно снизить экспрессивность повествования) оформляет данное высказывание в виде повествовательного предложения, – но вряд ли стоит доказывать, что оно воспринимается читателем как безусловный риторический вопрос. Таким образом, можно утверждать, что грамматическое оформление подобных примеров вступает в конфликт с их семантической функцией.

Иногда трансформация диалогизированного текста в монологический показывает, что при отсутствии сегментации экспрессия представлена более отчетливо. Однако в данном случае трансформировать высказывания в монолог не представляется возможным без утраты их смысла. Это дает возможность говорить о том, что в некоторых случаях вопросно-ответная сегментация текста – сигнал нового, более значительного содержания.

Однако не все риторические вопросы относятся к средствам выразительности; строго говоря, к ним нельзя отнести большую часть встречающихся в текстах риторических вопросов «в чистом виде» – не требующих никакого ответа. Они могут быть обращены к любому «внутреннему» адресату. За некоторым исключением, свободный ответ на них невозможен, читатель может «ответить» лишь утверждением или отрицанием. Обычно они выполняют лишь композиционную функцию, отграничивая одну часть текста от другой. См.:

Так и пошло. Один на мамонта наведет и доволен. Другой кусок от хобота требует и дочку вождя в придачу. Так и разделились мы на Темных и Светлых, на добрых и злых. Азбука, да? Мы так маленьких детишек-Иных учим. (С. Лукьяненко. Ночной Дозор).

Часто подобные высказывания оформляются с помощью частиц, влияющих не на пропозицию, а на актуализацию [10]. См.:

Спрятал мобильник, мельком глянув на индикатор зарядки. Ну надо же, батарея совсем полная. В Москве у меня телефон садится за сутки, хоть и не слишком много говорю. За рубежом – неделю спокойно работает. Вышки чаще натыканы, что ли? Теперь еще одно дело. Неприятное... (С. Лукьяненко. Последний Дозор).

Подобные конструкции максимально приближены к форме диалога, где большую роль играют вопросы неинформативного характера, частицы для поддержания и продолжения разговора, модальные слова и другие средства экспрессивной выразительности.

Однако примеры из художественной литературы наглядно показывают, что в последнее время широкое распространение получило употребление риторических вопросов иного типа – требующих ответа-подтверждения или ответа-отрицания, т.е. ответа о соответствии или несоответствии действительности. В отличие от предыдущих, они могут оформляться с помощью модальных частиц «разве», «неужели», которые придают оттенок сомнения, недоверия всему предложению. В случае, когда дается развернутый ответ на такой вопрос и возникает вопросно-ответная композиция, воспроизводящая динамику эмоционального и мыслительного процесса, высказывание может принять и оттенок недоверия:

Мы стояли как замороженные. Неужели она правда сейчас уйдет? А она повернулась и пошла по проселку. (В. Крапивин. Полосатый жираф Алик),

и оттенок сарказма:

Или вот тот же Косач, табуретку ему в корму! Разве есть у человека с фамилией Косач хоть малейший шанс, что студенты между собой будут его называть Владимир Владленович? Да его даже в лицо так никто не называет. (Л. Каганов. Харизма).

Любопытно, что в последние несколько лет намечается тенденция оформления вопросно-ответных диалогических конструкций в составе авторского монолога с помощью языковых средств, характерных скорее для публицистики, нежели для художественной литературы, и воспринимающихся на первый взгляд как «избыточные». См.:

Ну да. *Любимый вопрос автору: все эти мужчины в ваших книгах – личный опыт?*
Ответ: такого опыта не бывает даже у самых востребованных порнозвезд. У Даши не было мужчин на одну ночь. (А. Холина. Хроники амбициозной брюнетки).

В отдельную группу, по нашему мнению, следует выделить и примеры, в которых роль риторического вопроса играет интекст; риторичность этих вопросов в абсолютном большинстве случаев зависит от контекста. Коммуникативные возможности произведений расширяются за счет введения в текст имплицитной информации, характерной для подобных форм. Ср.:

1. *Даль заволакивает дымом, кто-то падает, подстреленный, на лужайке, среди кавказских кустиков, мушмулы и каперсов; это он сам, убит, – к чему теперь рыдания, пустых похвал ненужный хор? – шотландская луна льет печальный свет на печальные поляны, поросшие развесистой клюквой и могучей, до небес, морошкой; прекрасная калмычка, неистово, туберкулезно кашляя, – тварь дрожащая или право имеет? – переламывает над его головой зеленую палочку – гражданская казнь; что ты шьешь, калмычка? – Портка. – Кому? – Себя. Еще ты дремлешь, друг прелестный? Не спи, вставай, кудрявая! Бессмысленный и беспощадный мужичок, наклонившись, что-то делает с железом, и свеча, при которой Пушкин, трепеща и проклиная, с отвращением читает полную обмана жизнь свою, колеблется на ветру. (Т. Толстая. Сюжет).*

2. *В кабинку вваливаются двое парней, одетых на манер модников, завсегдаев дискотеки в Гольяново, один из которых, низенький толстяк, с ходу бьет мне в нос. Первые мысли, посетившие мои затуманенные мозги: каким образом охрана пустила в клуб этих лохов, да еще и позволяет им устраивать драки с vip посетителями? Кто вообще они такие? Они думают, что это сельская дискотека? Может, они спутали меня с парнем, который пригласил на танец жену одного из них? С каких это пор в клубные туалеты стали врываться колхозники, мешающие релакснуться ударникам капиталистического труда? Мир сошел с ума? Вообще, WHAT THE HELL IS GOING ON? (С. Минаев. Duxless: Повесть о ненастоящем человеке).*

В состав текста может, как видим, включаться один или несколько заимствованных фрагментов, – так, в качестве реагирующей реплики на «интекстуальный» вопрос («Еще ты дремлешь, друг прелестный?») может выступать прямая цитата из другого литературного произведения («Не спи, вставай, кудрявая!»); кстати, пример 1 вообще воспринимается как «коллекция цитат» [6], хотя формально данный текст центоном не является. Конечно, подобные заимствования углубляют смысловой план высказывания. Что касается примера 2, то, несомненно, введение в текст фрагмента на иностранном языке многократно усиливает экспрессию; кроме того, желая создать ощущение сильного эмоционального накала, автор использует интонационный курсив¹. Однако если фразы, отсылающие читателя к произведениям А.С. Пушкина и Ф.М. Достоевского (пример 1), знакомы подавляющему большинству русских читателей, то цитата из песни на английском языке («WHAT THE HELL IS GOING ON?») вряд ли столь известна, – и большинство читателей, скорее всего, просто не поймет «литературной игры» автора.

Подобное несовпадение «подаваемого» и «воспринимаемого» сближает такие построения с риторическими вопросами, появляющимися в так называемой вторичной литературе.

Анализ фактического материала свидетельствует о нарастающей частотности рассматриваемых единиц в разных видах и жанрах речи, их возрастающей востребованности в условиях увеличения массива поступающей информации и потребности в ускорении ее структурирования и восприятия (во многом это объясняется тенденцией к экономии языковых усилий). Таким образом, можно утверждать, что риторические вопросы не только играют важную роль в актуализации смысла текста и авторской позиции, но и пополняют набор средств акцентуации ремы высказывания при минимальной затрате языковых средств.

¹ В понятие «интонационный курсив» включаются любые супраграфематические средства, «любые шрифтовые выделения в тексте – капитализация, написание всего слова заглавными буквами, курсив, разрядка, – передающие интонационную информацию» [11: 341].

Библиография

1. Акиншина Ю.В. Фигуры диалогизма как одна из основных особенностей научно-популярного стиля изложения // Вестник МГУ. Сер. 19. Лингвистика и межкультурная коммуникация. – М., 2007. – № 4. – С. 197–203.
2. Белоколоцкая С.А. Риторический вопрос в английском языке: дис... канд. филол. наук. – Тула, 2005. – 197 с.
3. Елькин В.В. Некоторые аспекты изучения диалогического текста // Семантика, функция и грамматические категории некоторых единиц: межвузовский сборник научных трудов. – Пятигорск: ПГЛУ, 2004. – С. 31–38.
4. Ионова С.В. Вторичный текст в концепциях текстуальности и интертекстуальности // Филологические науки. – М., 2006. – № 4. – С. 87–95.
5. Кожевникова Л.П. Единицы семантической делимитации художественного текста // Когнитивно-прагматические аспекты лингвистических исследований: сборник научных трудов. – Калининград: КГУ, 2001. – С. 101–109.
6. Лукин В.А. Художественный текст: Основы лингвистической теории и элементы анализа [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.gramota.ru/biblio/research/hudtext0> (дата обращения: 20 ноября 2010 г.).
7. Романовская О.Е. Некоторые особенности повествования в русской постмодернистской прозе // Гуманитарные исследования: журнал фундаментальных и прикладных исследований. – Астрахань, 2006. – № 1. – С. 74–80.
8. Федорова Л.В. Функционирование несобственно-вопросительных предложений в монологической речи // Проблемы теории и практики изучения русского языка: межвузовский сборник научных трудов. – Пенза, 1998. – Вып. 1. – С. 131–137.
9. Хазагеров Г.Г., Чмыхова Н.М., Кедрова Е.Я., Караченцева Н.М., Камышанский В.И., Островский В.Н. Риторика [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.proknoz.ru/analit/all_exes.php?pub=666 (дата обращения: 20 ноября 2010 г.).
10. Щербань Г.Е. Частицы в конструкциях экспрессивного синтаксиса. – СПб.: НИИХ СПбГУ, 2002. – 205 с.
11. Яковенко А.А. Некоторые сведения об интонационном курсиве в русских художественных текстах // Вестник Санкт-Петербургского университета. Сер. 9. Филология, востоковедение, журналистика. – 2007. – Вып. 1. – Ч. 2. – С. 341–346.

ИСТОРИЯ

УДК 94(470.6)

ЭТНОКУЛЬТУРНЫЙ КОНТЕКСТ МОДЕРНИЗАЦИИ НА СЕВЕРНОМ КАВКАЗЕ: ОПЫТ И УРОКИ

Х.Б. Мамсиров

В статье анализируется этнокультурный контекст имперской и советской модернизаций в региональном северокавказском разрезе. Опыт свидетельствует, что культурно-идеологическая составляющая имела принципиальное значение при реализации каждой модели модернизации, и его рациональный учет и вытекающие из него уроки важны для минимизации ошибок на современном этапе.

In the article it is analysed the ethnocultural context of the imperial and Soviet modernization in the North Caucasus region. The experience witnesses that cultural and ideological aspect had the main influence on the realization of every model of modernization and it is very important to take it into account and the following lessons for decreasing mistakes on the modern stage as much as possible.

В постсоветский период выдвижение проблематики модернизации в центр анализа и интерпретации российского исторического процесса вполне назрело для оценки содержательных перспектив внутрироссийского культурного диалога, федерализма. Эти проблемы связаны между собой внутренней логикой: и перспективы культурного диалога, и перспективы федерализма можно обосновать и выстроить, лишь объективно оценив предшествующий опыт. Это особенно важно в условиях, когда в начале XXI века в связи с недопустимым разрывом в уровне развития с передовыми странами руководством страны выдвинута новая стратегия модернизации России. Она потребует освоения передовых технологий, экономических форм, сопутствующих им социальных и политических институтов, уровня культуры и соответствующих механизмов экономической, социальной, политической, идеологической и культурной мобилизации как для широких слоев населения, так и для элиты [1].

Изучение и соотнесение регионального опыта с реальными мировыми процессами, с уровнем прогресса, анализ дискуссий о выборе модели развития, формы государственности, реакция различных народов на модернизационные процессы, минимизация ошибок в связях между этническим, региональным и унификационным является актуальной задачей.

Особое значение приобретает Северный Кавказ, требующий поиска новых идей, средств и методов научного осмысления. Являясь периферийным и интенсивно втягиваясь в процессы постсоветской модернизации и трансформации, он оказался в эпицентре сложнейших событий, процессов и обстоятельств [2].

Изучение конкретно-исторического опыта модернизации общества и сохранения уникальной культуры каждого народа, проблема интеграции этнических обществ в постиндустриальное общество в начале и XXI века является достаточно сложной задачей. Многие причины нынешней ситуации лежат в практике имперских и большевистских преобразований 1920–1930-х гг. и в результатах их интерпретации гуманитарным знанием и прежде всего исторической наукой.

Анализ ситуации на Северном Кавказе в начале XX и XXI века обнаруживает ее идентичность по многим параметрам. Экстраординарность ситуации, связанная с неотложными за-

дачами модернизации, стимулировало в первом случае восстановление института наместничества и назначение Кавказского наместника с большим объемом полномочий и самостоятельности. Во втором случае – образование нового Северо-Кавказского федерального округа и назначение полномочного представителя президента с не меньшими полномочиями.

В связи с созданием Северо-Кавказского федерального округа изучение и учет рационального исторического опыта имперской (либеральной по своей сути) и советской (авторитарной) моделей модернизации дает представление о механизме и опыте преодоления кризисных ситуаций вообще и в условиях многонациональной России в частности.

В 1905 г. новый наместник Кавказа граф И.И. Воронцов-Дашков пошел по пути изучения и суммирования рационального исторического опыта. Он исключал «возможность управления Кавказом из центра на основании общих формул без внимания к нуждам и потребностям местного населения, отличного по вероисповеданию, племенному составу и политическому прошлому. Эти особенности, – считал И.И. Воронцов-Дашков, – нельзя игнорировать, насильно подгоняя их под общеимперские рамки» [3]. Придерживаясь этого принципа, он в сравнительно короткий срок смог стабилизировать ситуацию на Кавказе и превратить его в относительно спокойный регион России.

Его преемник, великий князь Николай Николаевич продолжил линию своего предшественника, проникся глубоким уважением к Кавказу и его жителям, пытался вникнуть в проблемы региона. В докладе императору Николаю II он с горечью отмечал, что кавказская администрация до восстановления наместничества уделяла внимание не столько экономическому и культурному развитию горцев, сколько поддержанию порядка и спокойствия. Наряду с этим, по его мнению, нормализации ситуации на Кавказе препятствовали низкий уровень культуры и просвещения кавказских мусульман, произвол чиновников кавказской администрации и побои с населения. Выход из ситуации он видел в проведении серьезных реформ в указанных сферах, необходимости строгого соблюдения принципа равного отношения ко всем народам Кавказа во избежание обострения межнациональных отношений. В прочной связи мусульман Кавказа с Россией он не сомневался. Доказательством служила самоотверженность кавалеристов Кавказской конной дивизии на фронтах Первой мировой войны.

Великий князь Николай Николаевич актуализирует культурно-идеологический аспект деятельности местной администрации. Он отдает себе отчет в неэффективности политики христианизации мусульманского населения, в том, что горская интеллигенция формируется медленно и не имеет большого влияния на народ. Поэтому с учетом реальных условий он предлагает в корне изменить отношение к северокавказскому мусульманскому духовенству, сделать ставку на данном этапе на него как на весомую силу, влияющую на народ. В связи с этим он считает целесообразным отказаться от практики его обучения в Турции и в Персии (которое затем становилась проводником опасных антироссийских политических идей), и предлагает открывать у себя средние и высшие мусульманские духовные школы за счет государства и под его контролем [4]. Здравый смысл проектов был вполне очевиден. Но их реализации помешала полоса войн и революций.

Следующий масштабный проект, советский государственный социализм, являлся, безусловно, модерным проектом [5], когда все народы пытались стать партнером новой власти, сменявшей самодержавие. Советское общество продемонстрировало не только свои мобилизационные возможности, но и стремление к защите своих национальных интересов вопреки насаждаемой политической целесообразности и исторической необходимости.

Правящая партия довольно скоро осознала роль кадров в преобразовании традиционного общества, и особенно в национальных регионах. Процесс обучения новых управленческих кадров на Северном Кавказе имел свою особенность: «в первую очередь готовились специалисты сферы образования и сельского хозяйства, а затем из их среды вышли партийные, советские и хозяйственные руководители» [6].

Учет этих особенностей необходим для понимания проблемы встраивания новой социалистической интеллигенции в общественно-политический и идеологический контекст большевистской модернизации. Они выделялись местными властями как особо важные. Современными исследователями и в эмигрантских изданиях опровергается подобная точка зрения, о чем свидетельствует реальная специализация национальных учебных заведений. Во Владикавказе к концу 1920-х гг. были открыты Горский педагогический и сельскохозяйственный институты, филиалы Практической сельскохозяйственной академии имени Андреева, педрабфак, сельскохозяйственный, кооперативный, политехнический, финансово-экономический и медицинский техникумы [7].

Специализация «горских» учебных заведений вполне раскрывает социопрофессиональные, но не этнокультурные потребности советских модернизаторов. *Во-первых*, прагматизм советского модернизаторства использовал формально этнокультурный аспект в подготовке «своей» интеллигенции: новому режиму нужны были новые кадры из «националов».

Во-вторых, советская власть предопределила тип руководителя модернизационного процесса: учителя по профессиональному предназначению. Он считался наиболее эффективным и результативным в конкретных социокультурных обстоятельствах, весьма органичным авторитарному духу советской модернизации и учитывал наличные социокультурные и социопрофессиональные ресурсы традиционного общества.

После принятия X съездом РПК (б) Сталинской программы модернизации Главпрофобр РСФСР оценил дореволюционный опыт подготовки педагогов из нерусских народов «для распространения христианства и обрусения своих сородичей», которые «прорубали окно в Европу», как приемлемый [8]. Эти учебные заведения «дали первых борцов и разрушителей традиционного быта». Их окончили практически руководители всех российских автономий, многие из которых избрали профессию учителя (У. Алиев, Б. Алборов, З. Валидов, М. Султан-Галиев, М. Эннеев и др.).

После революции их «роль» «увеличилась еще больше». От педагогических учреждений ждали теперь «не только учителей для светских и советских национальных школ, но и руководителей национальной молодежи, способных дать ответ на все вопросы». Но самое главное, национальные педагогические заведения необходимо было «превратить в культурные центры, опорные и сборные пункты для просветительной работы [среди] данной национальности» [9].

24 февраля 1922 г. на заседании коллегии Наркомпроса РСФСР бюро Нацмен Главпрофобра выступило против объединения ряда педагогических техникумов и сокращения их бюджетного финансирования в связи с введением нэпа. Подчеркивалось их важнейшее назначение: «педтехникумы должны являться центром национальной культуры, привлекать и объединять ... всех местных культурных работников данной национальности» (выделено нами) [10].

Пристальное внимание к педагогическим учебным заведениям диктовалась ставкой власти на активное использование горского учителя на общественной работе и во всех идеологических кампаниях для объяснения населению ее политических нововведений. Именно в 1920-е гг. началась практика использования учителя как «многостаночника», и она сохранялась на протяжении всего советского периода. Объективно вынужденная, она в условиях крайней скудости кадров мешала развитию профессионализма учителя.

Сообразно целям модернизации создавались и учебные заведения. Инновационной идеей стало создание Ленинского учебного городка в Нальчике, «интегрального типа учебного заведения для массовой подготовки национальных советских, партийных и культурных работников».

Национальные педагогические учебные заведения, созданные после революции, позволили подготовить кадры учительства, знающие язык, особенности работы среди северокавказских народов и базу для современной национальной школы, сформировать его «общественно-политическое лицо», вести «идеологическое воспитание подрастающего поколения» [11].

Однако педагог с универсальными функциями и политическими установками не имел успеха у взрослого населения. В открытом письме в газету «Ленинский путь» учителя Кабардино-

Балкарии сетовали, что их непомерно «облагают» нагрузками, «принуждают агитировать», «организовывать колхозы». В итоге их обвинили в «склоках», «бузотерстве» и «оппортунизме» [12], в непонимании сущности истмата и идеализма, неспособности разоблачить «правооппортунистические ошибки т. Бухарина» (так в документе) [13].

Огромное количество фактов, публикуемых в открытой печати, напоминают те, которые изложил М.А. Шолохов в известном письме И.В. Сталину о ходе коллективизации на Дону: «Я видел такое, чего нельзя забыть до смерти» [14].

Однако власти было важнее то, что учитель вовлечен в «социалистическую переделку горских трудящихся масс, сам активно участвуя в этой переделке». Но она выдавала желаемое за действительное: главным мотивом деятельности учителя был страх. Конечно, национальное учительство выносило на своих плечах неимоверные нагрузки. Помимо профессиональной деятельности они оказывались часто единственным связующим звеном между советской властью и населением. Именно они рассказывали, как умели, о решениях властей, как их должны исполнять и пр.

Это отражает и реальную социальную базу формирования «новой народной интеллигенции», на которую делались ставки в ходе модернизации. Учительство, воспринимаемое в качестве авангарда советской модернизации, имело крайне слабый профессиональный уровень, а другого просто не было дано.

Совнацмен Наркомпроса РСФСР, указывая на этот недостаток, настаивал на срочной организации научно-исследовательского института для подготовки научных работников, знающих национальные особенности населения [15]. Они были необходимы для их использования в учебном процессе и осуществления управленческих функций.

Со второй половины 1920-х гг. демагогия усиливается. Всесоюзное партийное совещание (1930 г.) по вопросам народного образования успешное начало политики «великого перелома», «высокое качество работы на идеологическом фронте» напрямую связывало с решением «проблемы национальных педагогических кадров» [16].

На первый план выходили не собственно культурные, а «классово-политические задачи национально-культурного строительства», поскольку основную массу учительства составляли выходцы из мелкобуржуазных слоев и духовенства, сильно подверженных «влиянию чуждой идеологии» [17].

Погоня за «идеологическим» соответствием кадров приводила к снижению их профессионализма [18] и использованию «валового» подхода к подготовке национальных кадров. В связи с этим к концу 1920-х гг. «для коренного населения» в рабфаках, вузах нацреспублик и областей пытаются организовать «преподавание на родных языках» [19].

Оригинальный выход предложил Кабардино-Балкарский обком партии, создав в 1924 г. «институт так называемых шестерок». Метафора, весьма символическая, утвердившаяся с определенным смыслом в последующие годы. Цель – в каждом селе «завербовать по 6 молодых бедняков для подготовки председателей сельских советов и секретарей, секретарей ячеек партии, комсомола, кооперативных работников и учителей» [20]. В том же году в ЛУГе началась их подготовка [21]. В ходе коллективизации из числа «шестерок» создавались дружины по выявлению нарушений [22].

Целевую подготовку национальных кадров осуществлял и целый ряд специализированных учебных заведений: университет имени Я.М. Свердлова, Коммунистический университет народов Востока, Институт востоковедения, Институт национальных культур советского Востока (в Москве), горские институты в Ростове, Владикавказе и в Баку.

Аналогичные цели преследовали открытые в каждой автономной области советско-партийные школы, школы профдвижения, колхозные курсы. В таких учебных заведениях обучались многие руководители различных уровней северокавказских автономий.

«Большинство получивших образование до революции горцев не нашли в новых условиях применения своим знаниям в национальных областях и вынуждено было или эмигрировать, или искать убежища в других регионах СССР. Многие погибли и в подвалах ГПУ» [23].

Неудивительно, что значительная часть национального населения предпочитала специализацию, подальше отстоящую от идеологических целей и задач. Декабрьский пленум (1930 г.) Северокавказского крайкома признал, что ввиду «продолжающегося игнорирования со стороны ряда ведомств и организаций края» вопрос о национальной кадровой политике еще предстоит «сдвинуть с мертвой точки» [24].

Предпочтение отдавалось обучению кадров общего профиля, которых затем легче было использовать на «руководящей» работе. Им не могли противостоять «узкие» специалисты по причине их отсутствия среди коренного населения. Приходилось их замещать кадрами из представителей других национальностей. Они обладали более точными знаниями, что делало позицию руководителя уязвимой с точки зрения правильности принятия профессионального решения. Так закладывались предпосылки трансформации профессионального конфликта в межэтнический. Для традиционного общества, в котором земля являлась главным жизненным ресурсом, в условиях формально автономной территории этот конфликт становился политическим.

Поэтому проблема подготовки «врачей, агрономов, инженеров, экономистов» сохраняла свою актуальность на всех исторических этапах. От вузов требовали «людей, окончивших в университетах «свои» национальные отделения». Однако их выпускники были «не способны к серьезной работе» [25].

Выход из положения виделся в «перестройке партработы в учебных заведениях и общежитиях». Для студента же горца эта была тяжелейшая социокультурная и психологическая проблема, а не классовая, как это пытались втолковать ему пропагандисты на общих собраниях в общежитиях. Этим и объясняется огромный отсев студентов, которые бежали «во все стороны» и возвращались в родной аул.

Одна из главных целей «великого перелома» – индустриализация не была обеспечена силами местной национальной интеллигенции. Безусловно, многие задачи советской модернизации были далеко не тривиальны. Среди них – создание «фабричного» человека, с принципиально иной трудовой мотивацией. Но даже протестантской Европе, как свидетельствует М. Вебер, понадобилось на решение этой задачи триста лет [26].

XII съезд РКП (б) поставил задачу пополнения советского аппарата местными крестьянами, вытесняя «чиновников (аксакалов, волостных управителей)» [27], «приверженных шовинизму, национализму и склокам» [28], снимать с ответственных постов наиболее ярких представителей дворянства» [29].

Со второй половины 1920-х гг., наконец, пришло осознание того, что силами одного учительства не обойтись. Началось системное обучение работников советских учреждений и повышение их квалификации на родном языке. В 1929 г. Северокавказский крайком ВКП (б) наметил 3-летний план коренизации «советского аппарата» [30]. Однако местные руководители вынуждены были признать, что в силу низкой грамотности национальных кадров эта работа отстает от темпов соцстроительства» [31].

Положение усугублялось тем, что параллельно велись «чистка соваппарата и выдвижение на их места вычищенных националов» [32]. Помимо этической стороны дела (небрежение спецификой горского менталитета – неуважение «доносителей», тех, кто стремился «подсидеть» и сделать на этом карьеру), многие начинали бояться занимать предлагаемые места. Мало кому хотелось отвечать за чужие ошибки. Тем более, что суть самого дела часто оказывалась нереализуемой по определению.

Люди руководствовались не партийными указаниями, а здравым смыслом. В результате чисток мест тех, кто был «вычищен», шли работать карьеристы, готовые исполнять любые указания. К началу 1930-х гг. начинает складываться принципиально иной тип руководителя-

национала. Но и к намеченному сроку (1932 г.) план «коренизации» национальных областей не выполнялся, так как советский аппарат в аулах также работал на непонятном горцам языке [33].

Посылка горцев на учебу за пределы края не всегда оправдывало себя. Зачастую они не могли приспособиться к жизни города и их «тянуло обратно в аул» [34]. Здесь проявилась особенность – сложное отношение горцев к городу как к иной социокультурной среде обитания. Для адаптации требовались время и определенные свойства личности, которых еще не было у горцев. Власть же, руководствуясь классовым подходом, не считалась с этими культурологическими особенностями, уповав только на классовую поддержку передового рабочего класса.

Особое значение приобретает подготовка «национальных» научных кадров для «промышленности и сельского хозяйства», здравоохранения. Льготы устанавливались для аспирантов-коммунистов краевого горского НИИ из числа выпускников КУТВ [35]. Горская эмиграция тотчас обратила внимание эту важную закономерность: власть наиболее активно направляла горцев обучаться в те учебные заведения, которые параллельно с профессиональными знаниями давали и «коммунистическую» ориентацию» [36].

Ставка на партийно-классовый подход давала и сбои. Например, «из 400 мест, забронированных в вузах и техникумах» [37] ЧАО смогла заполнить только 270. К концу года осталось 52, а выпущено всего 2 «национала». Это важнейшее свидетельство отношения горцев к проводившейся модернизации, их активности. Северокавказское бюро крайкома ВКП (б) в мае 1930 г. создало специальную комиссию по «подбору учащихся в вузы и втузы, техникумы и рабфаки» для недопущения «проникновения чуждых элементов» [38].

Тем не менее на Северном Кавказе отмечалась «угрожающая» «засоренность учительства социально чуждыми элементами». Хотя в каждой автономии и работал педагогический техникум, «количество выпускников в них снизилось». В вузах «национальный состав учащихся продолжал оставаться неудовлетворительным» [39].

Таким образом, при сравнительном анализе обнаруживаются удивительные параллели в опыте имперской и советской модернизаций. Независимо от экономической модели государства, целей и задач модернизации, каждый режим (будь то царский или советский) придавал принципиальное значение ее культурно-идеологической составляющей. В дореволюционный период на Северном Кавказе основным каналом трансляции идей государственной идеологии в среду горских народов являлось светское образование. Неменьшее значение придавалось исключению внешнего влияния на подготовку священнослужителей для горских народов.

В современных условиях не стоит пренебрегать этим поучительным опытом. Тем более, что оснований для беспокойства более чем достаточно. Решение трудностей региона лежит на путях всесторонней модернизации местных обществ и сближения его социально-экономических, социально-культурных параметров с общероссийскими.

Опыт взаимоотношений федерального центра и регионов в 1990-е гг. показывает, что сепаратизм получал развитие после безуспешного инициирования либеральной частью российского истеблишмента проекта «сброса Кавказа» как ненужного балласта, не поддающегося модернизации (понимаемой как вестернизация) [40].

Современные проблемы Северного Кавказа стали следствием модели приватизации 1990-х гг. Регион, являясь одновременно и форпостом, и слабым звеном России, вызывает серьезную озабоченность федерального центра. Повышенное внимание к нему проявляют Запад и исламский мир, пытающиеся использовать исламский фактор и полиэтничность для дестабилизации ситуации в России [41].

Распад СССР и деидеологизация общества вызвала у многих россиян своеобразную «идеологическую ломку» и дезориентацию, смещение базовых понятий о добре и зле [42].

Необходимость в объединяющей государственной идеологии и активных усилиях по её пропаганде ощущается особенно остро на Северном Кавказе, где государству противостоит терроризм, имеющий идейно-политическую мотивацию [43].

Об опасности терроризма и исламизации России говорят многие российские политики. Их особенно тревожат цели исламизаторов по захвату еще не «приватизированного» идеологического пространства, небезуспешное обращение в ислам русских [44].

Типичные социальные проблемы России на Северном Кавказе проявляются еще острее. Затянувшийся социально-экономический кризис в регионе служит питательной средой для распространения идей исламского экстремизма и всплеска террористической активности [45].

Если вовремя не смягчить социальную напряженность и модернизация производства затянется надолго, то политическая апатия масс может перерасти в политическую активность. Рецидивы экстремизма и терроризма на Кавказе являются специфическими проявлениями такого рода [46].

Научное обеспечение государственной политики на Северном Кавказе нуждается в существенном уточнении представления о Северном Кавказе как об объекте науки и политики в массовом общественном сознании, и даже в научных кругах, в которых все еще доминирует образ Северного Кавказа как сепаратистской, кризисной, конфликтной, но вместе с тем однородной целостной социально-политической единицы российского общественного пространства. Но в действительности регион дифференцирован по историко-политическим, социально-экономическим, социально-культурным и другим измерениям. [47]

В осмыслении проблемы в российском интеллектуальном сообществе очевидны весьма серьезные расхождения в зависимости от избираемой точки зрения. После массы публикаций 1990-х гг. проблема модернизации уступила место традиционной и привычной для российского общественного сознания идее государственности и державности. Наиболее наглядно это проявляется в исследованиях ученых Москвы, Ростова. Они обвиняют национальных исследователей в переписывании истории Северного Кавказа, в пропаганде этнической и религиозной исключительности. Для взаимопонимания, оптимизации ситуации необходимо развитие и углубление конкретно-исторических исследований в целях выявления ее природы, сведения воедино центральных и периферийных тем этой проблемы.

В советский период (1920–1930-е гг.) религиозное образование полностью вытесняется из образовательного пространства, и роль центров образования и культуры переходит к средним специальным педагогическим учебным заведениям. В тяжелейших условиях НЭПа государство изыскивало финансовые возможности для сохранения и развития сети педагогических техникумов.

В современных условиях роль центров российского светского образования и культуры, идеологического противодействия религиозному экстремизму в национальных республиках принадлежит классическим университетам. В результате нынешних реформ сферы образования, когда происходит дифференциация и сокращение финансирования вузов, уменьшаются контрольные цифры приема на гуманитарные специальности, а вузы отпускаются в «свободное плавание», и – как следствие – сужается зона влияния светского образования и культуры на подрастающее поколение.

Насколько такая политика оправдана в приграничном федеральном округе, где у автохтонного населения в новейшее время сформировалось трепетное отношение к образованию в целом и высшему образованию в частности? Свято место пусто не бывает, и в регионе наглядно проявляется идеологическая борьба по вытеснению светского образования религиозным. Религиозные кадры священнослужителей высшей квалификации для мусульманских регионов Северного Кавказа свободно готовятся за рубежом с целевыми установками, далекими от российских государственных интересов.

Безусловно, новый Северо-Кавказский федеральный округ нуждается в своем федеральном университете. Но будет ли этого достаточно? В каждом субъекте округа классический университет на вес золота в идеологическом противостоянии с религиозным экстремизмом, как форпост сохранения российского светского образования, науки и культуры. Но без систематической государственной помощи и поддержки выполнить свою сложную миссию им будет чрезвычайно трудно.

Библиография

1. Кононенко В.М. Сталинский опыт модернизации России [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://wp.aisorgsu.ru>.
2. Гаджиев К.С. Геополитика Кавказа. – М., 2001. – С. 7.
3. Кавказ и Российская империя; проекты, идеи, иллюзии ирреальности. Начало XIX–начало XX вв. – СПб., 2005. – С. 583.
4. Там же. – С. 543–544, 548–550.
5. См. об этом: Красовицкая Т.Ю. Модернизация России: национально-культурная политика 20-х годов. – М., 1998.
6. Напсо Д.А. К вопросу о формировании национальной интеллигенции // Интеллигенция Северного Кавказа в истории России. Материалы межрегиональной научной конференции (10–11 апреля 1998 г.): в 2 ч. – Ставрополь, 1998. – Ч. 1. – С. 128; См. также: Профуклоны школ II ступени // Ежедневник Севкавказоно. – 1926. – № 18–19. – С. 10–11.
7. Люстиг. Вовлечение горцев в вузы и техникумы // Просвещение национальностей. – 1931. – № 10. – С. 51.
8. Государственный архив Российской Федерации (далее – ГАРФ) – Ф. 1565. – Оп. 11. – Д. 168. – Л. 3.
9. Там же. – Л. 3.
10. Там же. – Оп. 2. – Д. 45. – Л. 5.
11. Смирнин В.В. Педкадры Кабардино-Балкарии на переподготовке // Революция и национальности. – 1933. – № 2. – С. 69.
12. Разные известия // Горцы Кавказа. – 1932. – № 30. – С. 33.
13. См.: Люстиг. Вовлечение горцев в вузы и техникумы // Просвещение национальностей. – 1931. – № 10. – С. 53.
14. Я видел такое, чего нельзя забыть до смерти // Родина. – 1992. – № 11–12. – С. 51–57; Судьбы российского крестьянства. – М., 1996. – С. 536–556.
15. Государственный архив Ростовской области (Далее – ГАРО). – Ф. Р–2443. – Оп. 7. – Д. 2912. – Л. 14.
16. Гасилов Г. Проблема национальных педагогических кадров // Просвещение национальностей. – 1930. – № 3. – С. 25.
17. Там же. – С. 25, 27.
18. Там же. – С. 32.
19. Российский государственный архив социально-политической истории (далее – РГАСПИ). – Ф. 17. – Оп. 84. – Д. 485. – Л. 69.
20. Ямушкин В. Народный учитель Кабардино-Балкарской АО и система повышения его квалификации // Просвещение национальностей. – 1934. – № 2. – С. 52.
21. Там же.
22. «Социалистическая» действительность в «социалистическом отечестве» // Горцы Кавказа. – 1932. – № 30. – С. 32.
23. См., например: Билатти Б. «Коренизация нацобластей – узкое место в нацполитике советов // Горцы Кавказа. – 1932. – № 31. – С. 22.
24. ГАРО. – Ф. 2443. – Оп. 2. – Д. 2912. – Л. 34–35.
25. Саар Г.П. К вопросу об отделениях национальных меньшинств в высших учебных заведениях // Научный работник. – 1928. – № 11. – С. 33.
26. Вебер М. Протестантская этика и дух капитализма // Избранное. – М., 1990. – С. 170–252.
27. РГАСПИ. – Ф. 17. – Оп. 84. – Д. 485. – Л. 74.
28. Там же. – Л. 75.
29. Там же. – Л. 155.
30. Оширов А. Коренизация в советском строительстве // Революция и национальности. – 1930. – № 4–5. – С. 110.

31. ГАРФ. – Ф. 1235. – Оп. 125. – Д. 118. – Л. 69.
32. Там же. – Л. 4.
33. Тлюняев А. Коренизация аппарата в нацобластях – одна из основных задач социалистического строительства // Революция и горец. – 1932. – № 8–9. – С. 45.
34. Саар Г.П. К вопросу об отдельных национальных меньшинствах в высших учебных заведениях // Научный работник. – 1928. – № 11. – С. 32; Национальный архив Республики Адыгея. – Ф. Р. 1. – Оп. 1. – Д. 65. – Л. 263; Государственный архив Карачаево-Черкесской Республики. – Ф. Р. 24. – Оп. 1. – Д. 13. – Л. 32.
35. ГАРФ. – Ф. 2443. – Оп. 7. – Д. 2919. – Л. 14.
36. Билатти Б. «Коренизация нацобластей – узкое место в национальной политике советов // Горцы Кавказа. – 1932. – № 31. – С. 18–25.
37. ГАРФ. – Ф. 1235. – Оп. 126. – Д. 9. – Л. 28.
38. Горемыкин Г., Симонов П. Первый национальный педвуз в РСФСР // Просвещение национальностей. – 1933. – № 1. – С. 32.
39. Феоктистов Н. Литературные организации Северного Кавказа // Революция и национальности. – 1934. – № 6. – С. 38.
40. Попов Э.А. Северный Кавказ: императив системных преобразований [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.perspektivy.info/rus/gos/severnyj_kavkaz_imperativ_sistemnyh_preobrazovanij_2009-12-09.htm.
41. России целятся в «подбрюшье» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://postsovet.ru/blog/kavkaz/1373.html>.
42. Голубчикова Ю.Н., Мнацаканян Р.А. Исламизация России. Тревожные сценарии будущего. – М., 2005. – С. 387–389.
43. Андрей Епифанцев Почему мы теряем Кавказ? [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.apn.ru/publications/article22987.htm>
44. Там же.
45. Голубчикова Ю.Н., Мнацаканян Р.А. Исламизация России. Тревожные сценарии будущего. – М., 2005. – С. 387–389.
46. Попов Э.А. Северный Кавказ: императив системных преобразований [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.perspektivy.info/rus/gos/severnyj_kavkaz_imperativ_sistemnyh_preobrazovanij_2009-12-09.htm.
47. России целятся в «подбрюшье» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://postsovet.ru/blog/kavkaz/1373.html>.
48. Высшей школе – повышенное внимание // Вузовские вести. – 2001. – № 19 (137). – С. 9.

**КАБАРДА В ПОЛИТИКЕ РОССИИ НА КАВКАЗЕ В XVI–XVIII вв.:
ИСТОЧНИКОВЕДЧЕСКАЯ БАЗА ИССЛЕДОВАНИЯ**

К.Ф. Дзамихов

Статья посвящена анализу наиболее значимых комплексов русских письменных источников, раскрывающих взаимоотношения исторической Кабарды с Российским государством, и их влиянию на политическую историю Кавказа в XVI–XVIII вв.

The paper presents an analysis of the most meaningful collections of the Russian written sources, disclosing the relations between Kabarda and Russian State and there impact on the political history of the Caucasus in the XVI–XVIII centuries.

Источниковедческая база исследуемой темы основана на широком круге материалов, значительная часть которых – это русские источники XVI–XVIII веков. Прежде всего они раскрывают политические связи правящих слоев России с феодальной знатью адыгов, других кавказских народов и правящей верхушкой кочевых народов Степного Предкавказья. Учитывая многочисленность и разнообразие русских письменных источников по теме, мы ограничимся обзором наиболее значимых комплексов из использованных нами. Их можно условно разбить на две группы: 1) дипломатическая документация Посольского приказа и Коллегии иностранных дел (царские грамоты, статейные списки, списки с грамот иностранных государей, распросные речи и т.д.), комплекс материалов по вопросам военной и административной организации господствующей аристократии (разрядные книги, боярские книги и списки, родословные книги и росписи); 2) нарративные источники (русские летописи XVI–XVII веков, средневековые османские и крымские хроники, записки иностранных авторов о народах Северного Кавказа и Степного Предкавказья, а также опубликованные и рукописи неопубликованных исторических работ. Последние благодаря обилию содержащихся в них разнообразных материалов одновременно сами выступают как ценнейшие источники.

Документальные источники о политических связях адыгов с Россией, другими кавказскими и поволжскими народами начали откладываться с середины XVI по XVII века в Посольском приказе, позже в XVIII веке – в Коллегии иностранных дел Российского государства. Большинство из них дошли до нас в составе различных фондов Российского государственного архива древних актов (РГАДА) и Архива внешней политики Российской империи (АВПРИ).

Из материалов РГАДА интересующий нас материал содержится в фондах «Кабардинские, черкесские и другие дела» (ф. 115), дела за 1588 по 1719 гг. (остальная часть, начиная с 1720 года, передана, как и все другие кавказские дела, в АВПРИ); «Кумыцкие и тарковские дела» (ф. 121); «Грузинские дела» (110) с 1586 по 1700 гг.; «Донские дела» (111) с 1623 по 1770 гг.; «Калмыцкие дела» (119) с 1673 по 1683 гг.; «Кабинет Петра I» (9); «Секретная экспедиция Сената» (259).

Политическая история адыгов в контексте международных отношений XVI–XVIII веков хорошо отражается в следующих фондах: «Сношения России с Турцией» (89), дела за период с 1496 по 1719 гг.; «Сношения России с Ногайской ордой» (127), с 1489 по 1659 гг.; «Сношения России с Крымом» (123), с 1474 по 1718 гг.; «Сношения России с Персией» (77), с 1588 по 1700 гг.

Как было отмечено выше, АВПРИ располагает документацией, связанной со взаимоотношениями России со странами Востока и Кавказа. Это фонды: «Кабардинские дела» (115), «Осетинские дела» (128), «Кизлярские и Моздокские дела» (118), «Кумыцкие и тарковские дела» (ф. 121), «Сношения России с Турцией» (89), «Сношения России с Крымом» (123).

В отмеченных фондах содержится богатейший архивный материал, дающий возможность исследовать кавказскую политику России и раскрыть ее роль в международных отношениях, которые складывались вокруг Кавказа.

Фонд «Военно-ученого Архива» Российского государственного военно-исторического архива (РГВИА) дает нам возможность значительно дополнить наши знания по внутривосточной и внешнеполитической обстановке в Кабарде, Дагестане и у других северокавказских народов 1711–1720 годов.

Ценные источники извлечены автором публикации из архива Петербургского отделения Института истории (бывший ЛОИИ). Здесь находится документация астраханской приказной палаты (178). Она представляет чрезвычайный интерес для изучения северокавказского региона, так как именно через Астрахань проходила в конце XVI–XVII вв. вся переписка царского двора с Терским городом и феодальными правителями Северного Кавказа. Фонд астраханской приказной палаты включает часть архива Терской воеводской избы, который сам погиб по причине многочисленных наводнений и пожаров. Но и дошедшие до нас дела Терского города содержат богатейший материал по внутренней истории кавказского края и политике русского правительства. Например, здесь сохранилась переписка астраханских и терских воевод о связях с Кабардой; отписки терских воевод о просьбе кабардинских князей в помощи против «недругов»; о посылке на Терек жалования и военных действиях под Терским городом в 1651, 1672, 1689 гг. и др.

Среди региональных архивов важное значение по исследуемой теме занимает архив Кизлярского коменданта, сосредоточенный в Центральном государственном архиве Республики Дагестан в г. Махачкале. Среди хранящихся здесь документов 30–80-х годов XVIII века (на русском, кавказских и иностранных языках) особую ценность представляют материалы местного происхождения. Часть из них, которые в большей степени имеют отношение к Дагестану, написаны по-арабски, другая – на литературном языке *тюрки*, который употреблялся в тот период в качестве регионального языка быденной и деловой переписки на Северо-Восточном и Центральном Кавказе. Причем в феодальных владениях с нетюрским населением (Кабарда, Чечня) при составлении документов местная социальная терминология заменялась тюркскими эквивалентами.

Систематические взаимоотношения адыгов с Россией начались с 50-х годов XVI века, когда их посольства приняли присяги о подданстве. Официальные документы об этих событиях не сохранились. Но вся документация была тогда использована при составлении при царском дворе официальной летописи, выдержки из которой сохранились. Известно, что с конца XV века Посольский приказ имел отношение к русскому летописанию. Определенные представления о них дают и описи «Царского архива» и архива Посольского приказа 1614 г. [1]. Всего в «Описи» значатся 233 пронумерованных «ящика», «ящичка» и «ларчика». Судя по всему, русское правительство активно использовало архив для решения внутрисоветских и внешнеполитических вопросов.

Уникальная работа, проведенная А.А. Зиминим по реконструкции отдельных пластов документальных материалов, из которых складывался государственный архив XVI века, позволяет считать, что адыго-русские отношения с известных посольств 1552, 1555, 1557 годов оформлялись соответствующими дипломатическими документами. А.А. Зимин, используя разработанные А.А. Шахматовым методические приемы текстологии в изучении русского летописного материала, дал обширные комментарии содержания всех «ящиков» архивной описи [2].

В описи царского архива, дошедшей до нас в дефектном виде, имеются отметки о содержавшихся в ящиках 183, 201, 211, 226 следующих дел: «...посылки о сватовстве в Литву, и в Свейскую землю, и в черкасы..., черкасских князей приезды и Домануко; ...посылки черкасские ко князю Темрюку, и книги, писаны в тетради от лета 7070-го до лета 7072-го» [3]. Например, восстанавливая посольские дела из ящика 211, где говорится «...и грамоты Крымшевкаловы и Темрюковы; и проезд Темрюкова сына Солтанука», А.А. Зимин доказывает, что в целом ящик сформирован около 1557–1558 гг., хотя, может быть, содержал и некоторые более ранние материалы (1555). Позднее интерес к нему возрос после брака Ивана IV с Марией Темрюковной (1561), чем и объясняется перемещение его в группу ящиков 60-х годов XVI века [4].

Уже опись Посольского приказа 1614 года содержит указания лишь на обрывки приведенных дел царского архива XVI века. Последние восстанавливаются лишь частично летописными материалами.

Как показывают документы фонда «Кабардинские, черкесские и другие дела», поток документации, затрагивающий Кабарду и в целом северокавказский регион, шел в основном в двух направлениях и параллельно по двум каналам. Из Москвы от имени царя или Посольского приказа документы направлялись кабардинским владельцам, а также астраханским и терским воеводам. Это были жалованные грамоты, наказы. Обратная документация шла в Москву из Кабарды, Астрахани и Терского города. Она состояла из челобитных кабардинской знати, отписок и докладов русских воевод [5]. В этом комплексе материалов затрагивается разнообразный круг вопросов: о поездках кабардинских владельцев в Астрахань; о выдаче им жалования; о борьбе различных княжеских группировок в Кабарде и участии в них терских и астраханских служилых людей; о приведении к присяге на подданство России (шертовании) различных князей и организации контроля за выполнением шерстных обязательств; об отправлении кабардинских отрядов для участия в военных действиях против Швеции и Крымского ханства; о позиции кабардинской правящей верхушки во взаимоотношениях Русского государства с Турцией, Крымом, народами Северного Кавказа и Грузией, Ногайской ордой и Калмыцким ханством. В многочисленных «памятях» различных приказов имеются известия по определению жалования кабардинским князьям и мурзам; об освобождении отдельных из них от таможенных пошлин; давалась оценка лошадям, доставляемым из Кабарды.

В русской дипломатической документации XVI–XVII веков важное место занимают статейные списки различных посольств, которые характеризуют внешнюю политику Московского государства, укреплявшего постепенно свои позиции на Кавказе и стремившегося нейтрализовать и не допускать в этом районе влияния Персии, Турции и ее вассала Крымского ханства. Как правило, посольства перед выездом снабжались «наказами», своеобразным вопросником, включавшим обширный перечень (о географическом положении страны, сведения о населении, городах, укрепленных местах, хозяйстве, торговле, военной силе, обычаях и т.д.). Но главными были вопросы внешнеполитических связей и ориентации. На примере статейных списков И.П. Новосельцева (1570) и А.Ф. Жирового-Засекина (1600–1601) видно, как русские послы, отвергая притязания турок и персов, аргументированно доказывают, что Кабарда является подданной Русского государства [6]. В статейных списках Ф.Е. Елчина (1639–1640), Н.М. Толочанова и А. Иевлева (1650–1652) дается картина взаимоотношений и династических связей грузинского царского дома и кабардинских великокняжеских домов; вассально-подданические связи дигорского общества и кабардинских князей; структура кабардинских удельных княжеств XVII века; данные о хозяйстве и торговых связях и т.д. [7].

Большой интерес в изучении Кабарды и кабардино-русских отношений XVI–XVIII веков представляют такие акты материалы, как шерстные и жалованные грамоты. Шерстные грамоты содержали присягу «шерть» кабардинских владельцев в верности России. Эта группа документов является серьезным внешнеполитическим материалом, раскрывающим политико-правовой характер договаривающихся сторон и предполагающим их суверенность [8]. Большая группа шерстных соглашений кабардинских владетелей с Российским государством имеет общие внешние документально-юридические признаки в происхождении как результат сделки контрагентов, в содержании – как определение взаимных условий и по форме – как комбинации устойчивых статей и формул.

Наряду с шерстными записями (грамотами) политико-правовые взаимоотношения сторон оформлялись дачей русскими государями верховным кабардинским князьям и всей кабардинской земле «царских жаловальных з золотой печатью» грамот, из которых самой ранней из дошедших до нас является грамота 1588 года [9]. Они были по своему виду договорными и близкими к княжеским «докончальным» и повторяли основные положения шерстных присяг. Сохранение договорных грамот кабардинским князьям было в традиционной форме. Сам тип

этих грамот свидетельствует о союзническом характере установившихся отношений между Русским государством и Кабардой. Одновременно клаузулы грамот подчеркивают их своеобразие в вассально-подданическом плане: «...кто нам будет недруг, то бы и вам был недруг».

В договорных грамотах кабардинским князьям устанавливались и их обязанности по отношению к Русскому государству в военном плане.

Помимо договорных, кабардинским князьям, служившим в Терском городе, выдавались жалованные грамоты типа льготно-несудимых. Так, в 1615 году Сунчалей Янглычевич был пожалован князем «над окочаны и черкасы», «с правом судить и в ратном строении и во всяких делах их ведать» [10]. Грамоты, предоставлявшие такие права, получили в свое время Шолох Сунчалеевич и Касбулат Муцалович [11]. Эти грамоты позволяют думать, что окоцкое и черкесское население Терского города пользовалось экстерриториальностью и не подчинялось терскому воеводе. Е.Н. Кушева считала, что такие жалованные грамоты создавали в Терском городе рядом с русским воеводой и подчиненными ему ратными людьми особое вассальное Черкесское княжество [12].

Параллельно с жалованными грамотами кабардинским князьям царская власть направляла грамоты астраханским и терским воеводам. В них сообщались воеводам фамилии жалованных кабардинских князей, давались инструкции по отношению к ним, определялся порядок выдачи жалования, содержались указы по организации совместных походов и т.д. При сопоставлении сведений, содержащихся в грамотах этих двух групп, видно, что они совпадали. Это свидетельствует о том, что тексты грамот достоверны и отражали реальные события. Жалованные грамоты кабардинским князьям составлялись в Посольском приказе в двух списках. За редким исключением (в случае, если грамота оставалась невысланной), подлинники не сохранились. На жалованных грамотах кабардинским князьям, в отличие от указных, употреблялась всегда красная печать (это стало традиционным для данной группы документов), что подчеркивалось в конце текста: «У той грамоты привешена на шелковом снуре из красного воску печать».

Со стороны кабардинских князей огромное количество грамот поступало в Посольский приказ и Коллегию иностранных дел. В них князья просили защиты от внешних и внутренних врагов, оказания военной и материальной помощи, просьбы об отпуске в Москву к государю, сообщения о планах и действиях недругов государства (хана, шевкала) и т.д. [13].

Таким образом, мы видим, что взаимоотношения Кабарды с Россией оформлялись важнейшими публично-правовыми актами, т.е. документами правительственного происхождения, которые выражали взаимоотношения верховной Российской власти и Кабардинского феодального княжества.

Многое из комплекса дипломатической документации Посольского приказа и Коллегии иностранных дел по взаимоотношениям России с Крымским ханством, Османским государством, Ногайской Ордой, Польско-Литовским государством, Грузией, народами Северного Кавказа и донскими казаками благодаря Н.И. Новикову, А.Ф. Малиновскому, Г.Ф. Карпову, Г.Ф. Штендману, Ф. Лашкову, Н.И. Веселовскому, А.А. Лишину, Н.Н. Бантыш-Каменскому, С.Н. Кологривову, М. Оболенскому, И. Даниловичу, П.Г. Буткову, С.А. Белокурову, А.А. Цагарели, М.И. Броссе, М.Г. Джанашвили опубликовано на протяжении XVIII–начала XX веков [14].

Часть «кабардинских» и «грузинских» дел, не вошедшая в публикации С.А. Белокурова, хранится в его личном фонде в РГАДА (184) и Отделе рукописей Российской государственной библиотеки (23). Разнообразный документальный материал XVIII–начала XIX века, собранный П.Г. Бутковым, отложился в Петербургском отделении архива АН России в фонде 99 (Копии с неизданных бумаг рукописного собрания П.Г. Буткова, касающиеся Кавказа) и в Военно-ученом архиве РГВИА («Опыт истории о черкесах и в особенности о кабардинских» и др.)

Комплекс материалов по вопросам военной и административной организации господствующей аристократии сосредотачивался с середины XVI по XVIII век в Разрядном приказе, который являлся центральным военным учреждением государства. Эта группа документов в

большей степени отражает общественно-политическую деятельность представителей различных ветвей кабардинских и западно-адыгских Черкасских, служивших в Москве и Терском городе.

В Разрядных книгах, многие из которых были опубликованы [15], содержится огромное количество сведений о военном деле в России, вооружении армии и ее руководстве, войсковой иерархии и порядке несения службы согласно местнической системе. В разрядных книгах типа «Дворцовые разряды» отображена будничная жизнь царского двора, официальные дипломатические приемы, именные списки бояр, окольничих, думных дворян, стольников и других придворных чинов, а также указывались их поместные и денежные оклады и передвижения по службе [16].

Обнаруженные нами в «Дворцовых разрядах» многочисленные «местнические дела» свидетельствуют, что «сословная честь» Черкасских была достаточно высокой в иерархической структуре российского феодального общества [17]. Необходимо отметить, что уже с таких известных источников, как Дворцовая тетрадь 1550-х годов и Список чинов 1588–1589 гг., дающих наиболее полную картину состава служилых князей Московского государства, проходит деятельность Черкасских как составной части русской аристократии [18].

Из документов Разрядного приказа наибольшую ценность имеют родословные книги, которые несли интересную информацию о политической жизни различных адыгских княжеств. Возникновение родословных росписей князей Черкасских в России было скорее всего связано с необходимостью определения их положения наряду с другими служилыми фамилиями, а также местническими вопросами. Родословные «Выезжих» адыгских князей начали составляться с начала XVII века [19]. Они показывают, как адыгские князья со второй половины XVI века в ранге служилых влились в состав правящего класса Московского государства, и многие из них заметно проявили себя на политическом и военном поприще. Достаточно назвать, например, таких деятелей, как Михаил Темрюкович, Борис Камбулатович, Василий Карданукович, Дмитрий Мамстрюкович, Яков Куденетович, Михаил Алегукович, Василий Петрович Ахамашуков-Черкасский, Александр Бекович-Черкасский и др. Самыми известными и наиболее полными являются родословные росписи кабардинских князей, которые содержатся в родословных книгах А.М. Пушкина и А.Б. Лобанова-Ростовского [20]. В них повествуется о внутреннем положении Кабарды конца XVI–XVII века, характеризуются сословные взаимоотношения кабардинской знати, размеры их населенных пунктов (кабаков) и количество подвластного населения. Родословные позволяют считать, что зачастую в XVI–XVII веках кровопролитные междоусобные войны в среде кабардинской феодальной знати происходили именно из-за земельных владений. Родословные росписи дают возможность полнее восстановить историю политических взаимоотношений адыгов с соседними народами – осетинами, вайнахами, дагестанцами, ногаями и калмыками, а также с такими государствами, как Россия и Крымское ханство.

Автором публикаций в своих исследованиях широко используются: 1) подробные росписи потомков Черкасских, содержащиеся в редакции родословной книги в 81-ю главу, в списке П.П. Вяземского [21], 2) родословные росписи рода Ахамашуковых, Егуповых и Чумаховых Черкасских из разрядного приказа РГАДА [22], 3) дело «По прошению владельца М. Кабарды майора князя Бековича Черкасского» из фонда «Кавказское областное дворянское депутатское собрание» Ставропольского архива [23].

Дошедшие до нас родословные росписи являются как бы остовом, по которому в сочетании с этногенетическими преданиями восстанавливается генеалогия адыгских княжеских родов. Родословные материалы позволили изучить во взаимосвязи вопросы генеалогии адыгских княжеских семей со службой многих из них в России. Они содержат массу сведений о службе, родстве, участии представителей различных ветвей Черкасских в политической жизни русского общества.

К указанной группе материалов близко примыкают документы частной переписки, адресованные Черкасским, которые служили в Москве. Часть их свидетельствует о том, что князья Черкасские, занимая видное место в среде русской высшей феодальной знати, своим положе-

нием и связями оказывали влияние на ход северокавказских событий. В качестве примера можно сослаться на письма княгини Тауки Салтанбековны из Терского города, адресованные сыну Михаилу Алегуковичу Черкасскому, или письмо тарковского шамхала Сурхая князю и воеводе Григорию Сунчалеевичу Черкасскому [24]. Другая часть писем адресована российскими государями Михаилу Алегуковичу, Александру Бековичу и Алексею Михайловичу Черкасским и касается проблем внутренней и внешней политики страны в конце XVII–первой половине XVIII века [25].

Общественно-политическая деятельность Черкасских в России нашла широкое отражение в документах Центрального государственного исторического архива Петербурга (ф. 1088 Шереметевы), Архиве АН России (ф. 94 А.М. Шегрен), РГАДА (ф. 1293 Русское генеалогическое общество; ф. 197 А.Ф. Малиновский), Петербургском отделении института истории (ф. 141) и многочисленных фондах Отдела письменных источников Государственного исторического музея (ф. 68, 229, 253, 445, 450).

Большим подспорьем для нашей работы явились обобщающие справочные издания П.В. Долгорукова, А.Б. Лобанова-Ростовского, В.В. Руммеля и В.В. Голубцова [26], специальные исследования по генеалогии Л.М. Савелова, П.Н. Петрова, А. Барсукова, А. Бобринского и другие [27]. Значительную помощь оказали материалы Разрядного приказа, опубликованные в новейший период К.В. Базилевичем, В.И. Богдановым, Я.Е. Водарским, С.П. Мордовиной, Г.Н. Анпиловым и др. [28]. Необходимо широко использовать Русский биографический словарь, где в соответствующем томе история Черкасских дается по персоналиям на широком историко-политическом фоне России, причем последовательно даются жизнеописания и выясняется роль многих представителей рода в жизни Российского государства [29].

Помимо названных дореволюционных публикаций документов, многие из использованных автором актовых источников вошли в такие известные издания, как «Акты исторические, собранные и изданные археографическою комиссиею», «Акты, относящиеся к истории Южной и западной России», «Акты XVI–XVIII вв., извлеченные А.Н. Зерцаловым», «Акты Московского государства, изданные императорскою Академией наук», «Акты времени правления царя Василия Шуйского (1606–1610 гг.)». Правительственные законодательные акты, касающиеся политики России на Северном Кавказе, опубликованы в «Полном собрании законов Российской империи»; в сборниках «Договоры России с Востоком» (состав. Т.Н. Юзефович); «Собрание государственных грамот и договоров, хранящихся в Государственной Коллегии иностранных дел» [30]. Из приведенной группы публикаций документов особое место занимают «Акты, собранные Кавказской археографической комиссией», изданные в 1866–1914 гг. в 12 томах. В них вошли официальные документы архива Главного управления наместника Кавказского, которые хронологически охватывают период с 1762 по 1862 год.

Характеристику нарративных источников по исследуемой теме начнем с русских летописных материалов XVI–XVII века. Летописи второй половины XVI века фиксируют важнейшие события в политической жизни адыгов. Основным источником при восстановлении событий, связанных с посольствами 1552–1557 годов от западных адыгов и кабардинцев, в результате которых был оформлен военно-политический союз с Русским государством, является летописный материал [31]. Как отмечалось уже выше, дела Посольского приказа о «черкесских князьях приездах» не сохранились. Еще до установления адыгами тесных политических контактов с Москвою в 16 веке Львовская летопись сообщала о нападении кабардинцев на Астрахань в 1532 году и возведении ими на астраханский престол царевича Аккубека. Данное летописное известие хорошо сопоставляется с памятниками устной традиции кабардинцев, в частности, с циклом сказаний и историко-героических песен о легендарном витязе Андемиркане.

Наиболее полно указанные события и дальнейшее развитие русско-адыгских, в особенности русско-кабардинских связей нашли отражение в Львовской, Лебедевской и Александроневской летописях. Львовская летопись содержала отдельные известия о приезде адыгских посольств в 50-е годы XVI века. Лебедевская летопись излагала интересующие нас события с мо-

мента приезда первого адыгского посольства в 1552 году по сентябрь 1562 г. Александроневская летопись под 1552 г. сообщала о посольстве адыгов в Москве и прерывалась. В продолжении к ней известия о черкесах начинались от мая 1563 года и доходили до февраля 1567 года. В летописях содержался разнообразный материал, характеризующий русско-адыгские отношения во второй половине XVI века: выезды адыгских князей и их служба при дворе Ивана Грозного; просьбы адыгов и попытки русского правительства по обращению их в христианство в начале 60-х годов XVI века; вооруженная помощь со стороны Московского государства союзным кабардинским князьям в борьбе с внутренними и внешними врагами; участие адыгских конных формирований в составе русских войск в военных действиях против Крымского ханства и Швеции, и т.д. Примечательно, что летописи зафиксировали и характер подчинения кабардинских и западноадыгских князей царской власти. Львовская летопись указывает, что царь «черкасским князьям в свои земли учинил отъезд и приезд добровольно» [32]. Такое сообщение имеется и в Лебедевской летописи: «...а в свои земли учинил отъезд и приезд добровольно» [33]. Эти князья, насколько мы можем судить, выступали в роли служилых и сохраняли за собой все свои владения в Кабарде.

Летописные известия часто имели налет определенной тенденциозности и неточности. К сожалению, в них не содержалось никакой информации о внутреннем положении Кабарды в социально-экономическом плане. Ничего в них не говорится о кабардинском трудовом населении. Они сообщали сведения только о кабардинской правящей верхушке.

Характеристика в летописях Темрюка Идарова как «большого князя» говорит о том, что институт «пшиуали» (верховный правитель – К.Д.), известный в более поздних источниках, существовал в полной силе уже в Кабарде XVI века. За это место происходили ожесточенные столкновения между различными княжескими группировками.

Летописный материал показывает, что в Кабарде второй половины XVI века шла ожесточенная борьба в среде правящей знати, из которой часть принадлежала к группе, придерживающейся русской, а другая – турецко-крымской ориентации. Группировка во главе со старшим князем Темрюком Идаровым после принятия русского подданства в 1557 году получила существенную поддержку в лице Московского государства. После женитьбы Ивана Грозного на Марии Темрюковне летопись сообщает, что «которые черкасские князи Темгрюку князю были непослушны, и те, слыша царское жалование к Темгрюку князю, что царь и великий князь Темгрюка князя пожаловал, дочь его взял за себя, и они Темгрюку князю учали быти послушны и во всем учинилися в Темгрюкове княжой воле» [34].

За 1558–1567 гг., как свидетельствуют летописи, в ответ на посольство Темрюка в Москву у него около шести раз бывали русские послы и около четырех раз ему была оказана военная помощь [35]. В Кабарду посылались крупные военные силы. В сентябре 1565 года, по сообщению Никоновской летописи, Иван Грозный в Кабарду «полем послал воеводу своего князя Ивана княже Дмитриева сына Дашкова, а с ним детей боярских Мурамцова да Мещерян, да Ивана Фестова с казаки с Михайлова города да з Разского из Шацкого и со всеми казаки Рязанские украины; а Мамстрюка князя отпустил царь и великий князь в судех...» [36]. Эти сведения хорошо сопоставляются с сообщениями разрядных книг, в частности, 1475–1605 гг. [37].

Летописные известия о междоусобных войнах кабардинской знати и участие в них русских войск говорят о попытках князя Темрюка Идарова и его сторонников политически консолидировать Кабарду в 50–60-х годах XVI столетия, опираясь на помощь Московского государства.

В 60-е годы XVI века Степенная книга заимствовала отдельные известия о Кабарде и русско-кабардинских отношениях из Никоновской летописи. Но в отличие от последней Степенная книга не дает их подробного обзора, а приводит лишь краткие сообщения об отдельных событиях.

Сведения, приводимые летописями конца XVI–первой половины XVII века, показывают, что в этот период русско-кабардинские связи расширялись и крепились. Кабардинцы поддерживали тесные связи с Терским городом. Новый летописец, говоря об очередном кабардинском по-

сольстве в Москву в 1594 году, сообщает, что «...велел их государь оберегати ото всех орд Терским людям» [38]. В летописях этого периода высоко оценивается роль Сунчалая Янглычевича, Каспулата Муцаловича и других кабардинских князей, которые занимались активной посреднической деятельностью между народами Северного Кавказа и Москвой. Почти во всех летописях второй половины XVI–первой половины XVII века содержатся многочисленные сведения о службе различных Черкасских на военном и гражданском поприще Российского государства.

Знатнейшие государственные мужи, как «первые в думе и совете» бояре, князья Черкасские в конце XVII века при своем дворе вели собственное летописание [39].

Русский летописец князей Черкасских излагал выдающиеся события русской истории от Славен и Руса, от возведения великого города Славенска до бурных событий 1680-х годов. Его основная часть (до 1630-х гг.) была умело скомпонована из сведений «Синописиса», Хронографа Русского редакции 1617 года и Нового летописца. В центре внимания составителей летописи была история возникновения, трудной борьбы за существование, расширения и возвышения Русского государства. Подчеркиваются государственные заслуги князей Черкасских, особенно в войне с Речью Посполитой и Швецией, в Чигиринских походах. Как видно из летописи, князей Черкасских прежде всего интересуют государственные проблемы, среди которых особый интерес представляет описание крупных народных восстаний 1648 и 1682 годов. Авторы летописи подчеркивают близость своих патронов – князей Черкасских царствующей династии.

Важным моментом в процессе накопления исторических сведений о Кабарде в России XVI–XVII века являлось то, что наряду с официальной русской историографией, которая отражала интересы господствующего класса, интересующая нас информация находила отражение и в русской народной исторической традиции. Такое важнейшее политическое событие, как сближение Кабарды с Русским государством, и установившиеся тесные связи между ними проходят в цикле исторических песен о Мамстрюке Темрюковиче [40] и в таких памятниках русской агиографической литературы, как «Повесть о женитьбе Ивана Грозного на Марии Темрюковне» [41] и «Повесть о свершении большия церкви Никитского монастыря. 1564» [42] и др.

С начала XVII века, когда отношения подданства кабардинцев Русскому государству стали достаточно прочными, правительство подробнее начинает интересоваться географическим положением и ресурсами Кабарды. Эта заинтересованность была обусловлена продолжавшейся борьбой Московского государства с Турцией и Персией за торговые пути, проходившие через Кавказ на Восток. Одна из имевшихся сухопутных дорог из Москвы в Закавказье проходила через Кабарду, поэтому имела необходимость в информации о точном географическом расположении Кабарды и ее населения. Такая информация собиралась и учитывалась. Составленная в 1627 году «Книга Большому Чертежу» содержала подробное географическое описание Кабарды [43]. Накапливавшиеся сведения о наличии полезных ископаемых позволили уже со второй четверти XVII века Московскому государству начать экономическое освоение Кабарды. Сюда были посланы специалисты для исследования обнаруженных здесь залежей серебряной и медной руды [44].

Быстрое накопление исторических сведений и знаний о Кабарде в XVIII веке было связано также с общим развитием науки в России, организацией здесь Академии наук. Академия наук предпринимала крупные научные экспедиции с целью изучения производительных сил страны. В их ходе делались различные физико-географические описания, собирался материал по истории, этнографии, лингвистике различных народов, изучалось состояние земледелия, скотоводства, различных промыслов и торговли. В этом плане большое значение для изучения кавказских народов имели академические экспедиции 1768–1775 и 1793–1794 годов, представленные такими учеными, как И.А. Гюльденшtedт (1741–1781), С.Г. Гмелин (1744–1774) и П.С. Паллас (1741–1811), с именами которых связано возникновение научного кавказоведения.

Во второй том «Кабардино-русских отношений» вошли 8 историко-географических и историко-этнографических описаний Кабарды [45].

Исследуемая тема значительно выиграет при широком использовании в качестве источника трудов дореволюционных русских (Г. Котошихина, А.И. Манкиева, В.Н. Татищева, М.М. Щербатова, Н.М. Карамзина, С.М. Броневского, В.Д. Сухорукова, Н. Грабовского, С.М. Соловьева, П.А. Юдина и др.) и адыгских историков (Исмаила Атажукина, Шоры Ногмова, Хан-Гирея и Владимира Кудашева).

В новейшее время усилиями большой армии отечественных ученых были осуществлены публикации архивных материалов XVI–XVIII веков из фондов центральных (РГАДА, АВПРИ, РГВИА) и местных (северо-кавказских) архивов, которые открыли собой новый этап в изучении взаимоотношений России с северокавказскими народами. Прежде всего это: Материалы по истории Осетии (XVIII в.) // Известия Северо-Осетинского НИИ. – Орджоникидзе, 1934. – Т. 6; Материалы по истории Дагестана и Чечни. – Махачкала, 1940. – Т. 3; Воссоединение Украины с Россией (документы и материалы). – М., 1954. – Т. 2; Путешествия русских послов XVII–XVIII вв. (статейные списки). – М.–Л., 1954; Крестьянская война под предводительством Степана Разина. – М., 1954. – Т. 1; Кабардино-русские отношения в XVI–XVIII вв. – М., 1957. – Т. 1–2; История, этнография и география Дагестана. М., 1958; История Осетии в документах и материалах. – Цхинвали, 1962. – Т. 1; Документы о взаимоотношениях Грузии с Северным Кавказом в XVIII в. – Тбилиси, 1968; Калмыцкие историко-литературные памятники в русском переводе. – Элиста, 1969; Межкавказские политические и межторговые связи Восточной Грузии (конец 60-х–начало 90-х гг. XVIII в. Документы и материалы. – Тбилиси, 1980; Русско-осетинские отношения в XVIII в. – Орджоникидзе, 1976, 1984. – Т. 1, 2; Посольская книга по связям России с Ногайской Ордой (1489–1508). – М., 1984; Русско-дагестанские отношения в XVIII–начале XIX вв. – М., 1988; Русско-чеченские отношения. Вторая половина XVI–XVII вв. – М., 1997; Документальная история образования многонационального государства Российского. Кн. 1. Россия и Северный Кавказ в конце XVI–XIX вв. М., 1998; Ногайцы Дагестана и Северный Кавказ (документы XVII–XVIII вв. – Махачкала, 1998; Черкесы и другие народы Северо-Западного Кавказа в период правления императрицы Екатерины II. 1763–1774. – Нальчик, 1996–1998. – Т. 1–2; Из документальной истории кабардино-русских отношений. Вторая половина XVIII–первая половина XIX в. – Нальчик. 2000.

Большую ценность представляют неопубликованные архивные материалы, подготовленные для сборника документов «Кабардино-русские отношения в XVI–XVIII вв.», но не вошедшие в данную публикацию в силу ограниченности объема издания. Эти материалы хранятся в архиве Института гуманитарных исследований Кабардино-Балкарского научного центра (ф. 1), и многие из них введены в научный оборот автором данной публикации.

Библиография

1. Описи Царского архива и архива Посольского приказа, 1614. – М., 1960.
2. Зимин А.А. Государственный архив России XVI столетия: Опыт реконструкции. – М., 1978. – Ч. 1–3.
3. Опись Царского архива и архива Посольского приказа 1614. – С. 36, 29, 40, 43.
4. Зимин А.А. Государственный архив России XVI столетия. – Ч. 2. – С. 473.
5. Сокуров В.Н. Кабардинские грамоты XVI – XVII вв. // Из истории феодальной Кабарды и Балкарии. – Нальчик, 1980. – С. 162–201.
6. Полиевктов М.А. Из переписки Северо-Кавказских феодалов XVII в. // Академику Н.Я. Марру. – М.–Л., 1935. – С. 745–755; Бушуев П.П. История посольств и дипломатических отношений русского и иранского государства в 1586–1612 гг. – М., 1976. – С. 369–371.
7. Путешествия русских послов XVI–XVII вв. – С. 222; Полиевктов М.А. Посольство стольника Толочанова и дьяка Иевлева в Имеретию (1650–1652). – Тифлис, 1926. – С. 119.
8. Кабардино-русские отношения в XVI–XVIII вв. Документы и материалы: в 2 т. (в дальнейшем КРО). – М., 1957. – Т. 1, № 28, 34, 49, 54, 61, 140, 219.
9. Там же. № 289, 69, 88, 100, 208, 236.

10. Кушева Е.Н. Народы Северного Кавказа и их связи с Россией. – С. 294.
11. КРО. – Т. 1. – С. 107, 325.
12. Кушева Е.Н. Народы Северного Кавказа и их связи с Россией. – С. 294.
13. КРО. – Т. 1, № 33, 52, 63, 70, 80, 83, 86, 89, 92–94, 98–99, 103–105, 112–113, 114, 121 и др.
14. Дела Ногайские. Кн. 1 за 1489–1509 // Сборник Русского исторического общества (в дальнейшем РИО). – Т. 41. – СПб., 1884; Ногайские дела. Кн. 2–4 за 1533–1556 // Продолжение Древней Российской Вивлиофики. – СПб., 1791. – Ч. 7; 1793. – Ч. 8–9; Малиновский А.Ф. Историческое и дипломатическое собрание дел, происходивших между российскими великими князьями и бывшими в Крыме татарскими царями с 1462 по 1533 г. // Записки Одесского общества истории и древностей. – Одесса, 1863. – Т. 5; Памятники дипломатических сношений Московского государства с Крымом, Ногаями и Турцией. – Т. 2 (1508–1521) / под ред. Г.Ф. Карпова и Г.Ф. Штендмана // РИО. – Т. 95. – СПб., 1895; Памятники дипломатических сношений Крымского ханства с Московским государством в XVI и XVII вв. / под ред. Ф. Лашкова. – Симферополь, 1891; Бантыш-Каменский Н.Н. Реестр делам Крымского ханства с 1474 по 1779 г. – Симферополь, 1893; Сборник некоторых важных известий и официальных документов касательно Турции, России и Крыма (Издал с приложениями В.Д. Смирнов). – СПб., 1881; Веселовский Н.И. Погрешности и ошибки при издании документов по сношению русских государей с азиатскими владельцами. – СПб., 1910; Памятники дипломатических и торговых сношений Московской Руси с Персией // Труды Восточного отделения императорского археологического общества. – СПб., 1890–1898. – Т. 20–22; Бантыш-Каменский Н.Н. Обзор внешних сношений России (по 1800 г.). – Ч. 1–4. – М., 1894–1902; Кологривов С.Н. Материалы для истории сношений России с иностранными державами в XVII в. – СПб., 1911; Книга Посольская Метрики Великого княжества Литовского. Изд. М. Оболенским и И. Даниловичем. – Т. 1. – М., 1843; Переписка между Россиею и Польшею по 1700 г., составленная по дипломатическим бумагам Н.Н. Бантыш-Каменским. – Ч. 1 (1487–1584); Памятники дипломатических сношений Московского государства с Польско-Литовским. – Т. 2 (1533–1560). Изд. подгот. Карпов Г.Ф. // РИО. – СПб., 1887. – Т. 59; Акты, относящиеся к истории Войска Донского. – Т. 1 (Собр. г-м А.А. Шишковым). – Новочеркасск, 1894; Донские дела Посольского приказа с 1594 по 1663 гг. // Русская историческая библиотека (в дальнейшем РИБ). – Кн. 1. – Т. 18. – СПб., 1898; Кн. 2. – Т. 24. – СПб., 1906; Кн. 4. – Т. 29–30. – СПб., 1909; Белокуров С.А. Сношения России с Кавказом. – Вып. 1. 1578–1613 // Чтения в императорском Обществе истории и древностей российских при Московском университете, 1888. – М., 1889. – Кн. 3; Бутков П.Г. Материалы для новой истории Кавказа. – СПб., 1869. – Ч. 1–3; Переписка на иностранных языках грузинских царей с российскими государями от 1639 по 1770 гг. / под ред. М.И. Броссе. – СПб., 1861; Грамоты и другие исторические документы XVIII столетия, относящиеся к Грузии / под ред. А. А. Цагарели. – СПб., 1891. – Т. 1; Джанашвили М.Г. Известия грузинских летописей и источников о Северном Кавказе и России // Сборник материалов для описания местностей и племен Кавказа (в дальнейшем СМОМПК). – Тифлис, 1897. – Вып. 22.
15. Дворцовые разряды, по высочайшему повелению изданные II-м отделением Собственной Его Императорского Величества канцелярии. – Т. 1 (1612–1628). – СПб., 1850; Т. 2 (1628–1645). – СПб., 1851; Т. 3 (1645–1670). – СПб., 1852; Т. 4 (1676–1701). – СПб., 1855; Белокуров С.А. Разрядные записи за Смутное время (7113–7124). – М., 1907; Милуков П.Н. Древнейшая разрядная книга официальной редакции (по 1565 г.). – М., 1901; Голицын Н.Н. Указатель имен личных, упоминаемых в Дворцовых разрядах. – СПб., 1912; Акты Московского государства, изданные императорской Академией наук / под ред. Н.А. Попова. – Т. 1; Разрядный приказ. Московский стол (1571–1634). – СПб., 1890. – Т. 2 (1635–1659). – СПб., 1894; Разрядный приказ. Опись столбцов дополнительного отдела (начало XVI в. – 1711 гг.) / под ред. А.А. Новосельского. – М., 1950.
16. Барсуков А.П. Воеводы Московского государства XVII в. (по правительственным актам). – СПб., 1897; Он же. Списки городовых воевод и других лиц воеводского управления Мо-

сковского государства с XVII столетия. – СПб., 1902; Боярские списки последней четверти XVI–начала XVII вв. и Роспись русского войска 1604 г. – М., 1979. – Ч. 1–2.

17. Местнические дела. 1563–1605 гг. Собр. и изд. Н.П. Лихачевым. – СПб., 1894; Дворцовые разряды, по высочайшему повелению изданные II-м отделением Собственной Его Императорского Величества канцелярии. – Т. 1. – С. 96, 322, 324, 393, 630, 710, 886; Т. 2. – С. 124, 128, 170, 256, 269, 350, 443, 679; Т. 4. – С. 120, 647; Древняя Российская Вивлиофика, содержащая в себе собрание древностей российских, до истории, географии и генеалогии российские касающиеся (в дальнейшем ДРВ). Изданная Н. Новиковым. Изд. 2-е. – М., 1788. – Ч. 14. – С. 487, 490.

18. РГАДА. – Ф. 20. Столпцы Московского стола. – № 751. – Ст. 3. – Л. 19, 21.

19. Родословная книга князей и дворян российских и выезжих (Бархатная книга). – М., 1787. – Ч. 2.

20. КРО. Т. 1. Приложения. – С. 383–387.

21. Государственная публичная библиотека. Собрание Вяземского, Ф. 141; См. Описание рукописей П.П. Вяземского. – М., 1902. С. 142–143; Бычкова М.Е. Родословные книги XVI–XVII вв. – М., 1975. – С. 61–63, 186–187.

22. РГАДА. – Ф. 210. – Оп. 18. – Д. 117; Дзамихов К.Ф. К генеалогии западноадыгских Черкасских княжеских родов в XVI–XVII вв. // Известия Северо-Кавказского научного центра высшей школы. – Ростов-на-Дону, 1990. – № 2.

23. Государственный архив Ставропольского края. – Ф. 53. – Д. 85. – Л. 1–118.

24. Кашкин Н.Н. Столпцы князей Черкасских. – СПб., 1902. – С. 10–11; Полиевктов М.А. Из переписки северокавказских феодалов 17 в. // Академику Н.Я. Марру. – М.–Л., 1935. – С. 745–755.

25. Письма и бумаги императора Петра Великого. – Т. 1 (1688–1701). – СПб., 1887; Т. 2 (1702–1703). – СПб., 1889; Т. 3 (1704–1705). – СПб., 1893; Т. 4 (1706). – СПб., 1900; Т. 7 (январь–июнь 1708). – Вып. 1. – Петроград, 1918; Вып. 2. – М.–Л., 1946; Т. 8. – Вып. 1 (июль–декабрь 1708). – М.–Л., 1948; Вып. 2. – М.–Л., 1951; Т. 9. – Вып. 1 (январь–декабрь 1709). – М.–Л., 1950 и др.

26. Долгоруков П.В. Российская родословная книга. – СПб., 1840. – Т. 5; Лобанов-Ростовский А.Б. Русская родословная книга. – СПб., 1873–1875. – Т. 1–2.; Руммель В.В., Голубцов В.В. Родословный сборник русских дворянских фамилий. – СПб., 1886–1887. – Т. 1–2.

27. Савелов Л.М. Родословные записки (Опыт родословного словаря русского древнего дворянства). – М., 1906–1909. – Вып. 1–3; Петров П.Н. История родов русского дворянства. – СПб., 1886. – Т. 1; Барсуков А. Обзор источников и литературы русского родословия. По поводу книги П.Н. Петрова История родов русского дворянства. Приложение к 54-томному изданию записок Императорской Академии Наук. – СПб., 1887; Дворянские роды, внесенные в общий гербовник Всероссийской империи. Составитель гр. Алексей Бобринский. – Ч. 1. – СПб., 1890; Списки титулованным родам и Лицам Российской Империи. – СПб., 1892.

28. Городские восстания в Московском государстве XVII в. (Сб. документов. Сост. и примечание К.В. Базилевич). – М.–Л., 1936; Анпилогов Г.Н. Новые документы о России конца XVI–начала XVII в. – М., 1967; Восстания в Москве 1682 (Сб. документов. – М., 1976); Водарский Я.Е. Правящая группа светских феодалов в России в XVII в. // Дворянство и крепостной строй России XVI–XVII вв. – М., 1975; Мордовина С.П. Служилые князья в конце XVI в. // Труды Московского государственного историко-архивного института. – М., 1970. – Т. 28.

29. Русский биографический словарь (в дальнейшем РБС). – СПб., 1905. – Т. 9. – С. 175–224.

30. Акты исторические, собранные и изданные археографическою комиссиею. – Т. 1 (1334–1598), Т. 2. (1598–1613), Т. 3 (1613–1645). – СПб., 1841; Т. 4 (1645–1676), Т. 5 (1676–1700). – СПб., 1842; Акты, относящиеся к истории Южной и западной России. – Т. 1 (1361–1598). – СПб., 1863; Т. 4 (1665–1668). – СПб., 1896; Акты XVI–XVIII вв., извлеченные А.Н. Зерцаловым. – М., 1897; Акты Московского государства, изданные императорскою Академией наук / под ред. Н.А. Попова. – Т. 1 (1571–1634). – СПб., 1890, Т. 2 (1645–1659). – СПб., 1894; Акты времени

правления царя Василия Шуйского (1606–1610 гг.). Собрал и редактировал А.М. Гневушев. – М., 1914; Собрание государственных грамот и договоров, хранящихся в Государственной Коллегии иностранных дел. – Ч. 1–5. – М., 1811–1894; Юзефович Т. Договоры России с Востоком, политические и торговые. – СПб., 1869.

31. Частично этот материал опубликован в КРО. – Т. 1. – С. 3–13.
32. Полное собрание русских летописей (в дальнейшем ПСРЛ). – Т. 20. – Ч. 1. – С. 563.
33. Там же. – Т. 29. – С. 240.
34. Там же. – Т. 13. Вторая половина. – С. 343–344.
35. Кушева Е.Н. Народы Северного Кавказа и их связи с Россией. – С. 237.
36. ПСРЛ. Т. 13. Вторая половина. – С. 398–399.
37. Разрядная книга 1475–1605 гг. – М., 1981. – Т. 2. – Ч. 1. – С. 191.
38. ПСРЛ. – Т. 14. – С. 28, 46.
39. Богданов А.П. Летописные и публицистические источники по политической истории России конца XVII в. – М., 1983. – С. 68–71; Чистякова Е.В., Богданов А.П. «Да будет потомкам явлено». Очерки о русских историках второй половины XVII в. и их трудах. – М., 1988. – С. 82.
40. Исторические песни XIII–XVI вв. – М.–Л., 1960. – С. 123–287; Соколова В.К. Русские исторические песни XVI в. (эпохи Ивана Грозного) // Славянский фольклор. – М., 1951.
41. Памятники культуры. Новые открытия. – М., 1976. – С. 31–37.
42. Тихомиров М.Н. Российское государство в XV–XVII вв. – М., 1973. – С. 389–391.
43. Книга Большому Чертежу. – М.–Л., 1950. – С. 50, 90–91, 147, 182; КРО. – Т. 1. – С. 387–389.
44. КРО. – Т. 1. – № 72–79.
45. Там же. – Т. 2. – № 52, 63, 93, 119, 134, 201, 256.

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ СИНТЕЗА В ИЗУЧЕНИИ РЕГИОНАЛЬНОЙ ИСТОРИИ*

А.Х. Боров

В статье на материале истории Северного Кавказа рассмотрены вопросы методологии построения обобщающих трудов по региональной истории. Показано, что центральной методологической проблемой для такого рода трудов является проблема синтеза. Предложена типология вариантов исторического синтеза и определены условия решения проблемы объективности обобщающего исторического знания. Рассмотрены возможности применения цивилизационного и модернизационного подходов к истории Северного Кавказа.

The article deals with the methodological issues of regional «general histories» as they are applied to the North Caucasus region. The centrality of the problem of historical synthesis for the methodology of general histories is substantiated. The author suggests a typology of varieties of historical synthesis and defines the conditions of solving the problem of objectivity of generalized historical knowledge. Relevance of civilizational approach and theories of modernization for the study of the history of North Caucasus is considered.

Постановка проблемы

Развивающиеся в нашей стране уже в течение ряда лет процессы мутации общественных структур и общественного сознания вызвали в отечественной историографии смену концептуальных структур как в явно выраженных, так и в имплицитных формах. Резкое повышение удельного веса факторов этнонациональной идентичности в общих структурах современного общественно-исторического сознания позволяет предположить, что новые парадигмы исторической науки выступают как некие общие концепции национальной истории тех или иных народов, претендующие на целостное и непротиворечивое осмысление пройденного ими исторического пути.

Первые результаты продвижения национальных историографий в этом направлении получили в литературе скорее негативную оценку. Характеризуя общие тенденции развития историографии на постсоветском пространстве, К. Аймермахер и Г. Бордюгов констатируют: «Для нынешнего «переписывания» историй характерны даже среди историков тенденции к героизации, удревнению своей государственности, завышению уровня политического и общественного развития этносов, вообще самоутверждению за счет соседей, созданию модифицированного пантеона выдающихся национальных деятелей» [1, 13]. Практически все эти тенденции фиксируются наблюдателями и на материале северокавказской историографии [2]. «Северокавказские научные сообщества, – подводит итог Л. Гатагова, – не без потерь пережившие тяготы переходного периода, весьма тяжело избывают издержки старого мышления и устаревшие методологические стереотипы. Новым испытанием для региональных историков (взамен имперского догматизма партийной науки) представляется «ловушка» этноцентризма. Безусловно, негативными факторами являются также чрезмерная политизация научного сознания и его провинциализация. Удастся ли северокавказским ученым уберечь историческую науку от идеологических и прочих соблазнов смутного времени – покажет будущее» [3, 271].

* Статья подготовлена в рамках реализации ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы.

Почти через десять лет после публикации процитированной работы вновь ставится вопрос: «насколько соответствует российское кавказоведение в его сегодняшнем состоянии требованиям времени с точки зрения и теоретической, и практической»? Ответ неутешителен. Указывается, что прошлое народов Кавказа превращено в мозаику воюющих между собой национальных историй, наполненных мифами о великом культурном и территориальном наследии, на которое якобы посягают соседи. При этом стремительно сокращается разница между профессионалами и любителями – и те, и другие работают на конъюнктурный спрос, целенаправленно выполняя политические заказы и преднамеренно эксплуатируя опасные социальные настроения [4, 18–23].

Интеллектуальная среда, в которой осуществляется научная и паранаучная деятельность по «производству прошлого», утрачивает регулятивные признаки коммуникативной рациональности. Все чаще в историографическом дискурсе ценностные стандарты применяются «идиосинкратично» (в терминологии Ю. Хабермаса), т.е. без ориентации на интерсубъективно признанные притязания на значимость. Характерным показателем этого являются оценочные ссылки на «уникальность» социокультурной традиции того или другого народа, объясняющие ссылки на его «менталитет» как вневременную данность.

Данная статья основана на стремлении автора внести посильный вклад в утверждение академического статуса и позитивных социальных функций исторического кавказоведения.

В ней обсуждается несколько вопросов, имеющих отношение к проблемам построения обобщающих трудов по истории Северного Кавказа.

1. Возможно и необходимо решать концептуальные проблемы исторического кавказоведения, исходя из конкретной познавательной задачи и вида работы, а не только из содержательных характеристик различных теоретико-методологических подходов и специфики предмета изучения.

2. Центральной методологической проблемой обобщающих историй (региона в целом либо отдельных народов и республик) является проблема исторического синтеза.

3. Исторический синтез, реализуемый в обобщающем историческом труде, имеет специфическую природу и условно определяется в данной статье как «субъектный синтез».

4. Одной из предпосылок достижения научной объективности обобщающих историй является рациональная саморефлексия социокультурных и политических субъектов регионально-исторического процесса на его современном этапе, которая реализуется в теоретико-методологическом поиске научного сообщества.

Методологические поиски в современном кавказоведении

В региональной южнороссийской историографии в последние годы сложилась собственная традиция изучения теоретико-методологических проблем исторической науки [5–11]. Опубликованные в ее русле работы свидетельствуют, что региональное научное сообщество активно осваивает и вполне квалифицированно оценивает существо и познавательные возможности различных школ и направлений современной историко-теоретической мысли. В указанных работах так или иначе упомянуты формационный, цивилизационный (в его универсалистской и локально-исторической версиях), модернизационный и синергетический подходы; методы исторической антропологии, исторической демографии, исторической психологии; направления и методы устной истории, интеллектуальной истории, микроистории, истории повседневности и истории ментальностей. С другой стороны, осознание широты возможностей, которыми располагает современный историк в плане теоретико-методологического оснащения своей работы, неизбежно приводит к идее плюрализма подходов, методов и интерпретаций как объективной характеристики современной познавательной ситуации в области истории.

При этом речь идет в общем и целом об одном и том же объекте исторического изучения, описания и объяснения – региональной или местной (локальной) истории Северного Кавказа. Понимание этого единства выдвинуло на первый план в методологических дискуссиях специалистов вопрос о природе Северного Кавказа как пространственно-временной единицы истории-

ческого процесса. Первоначальные дискуссии развивались в контексте цивилизационной парадигмы. Речь шла о применимости соответствующих концептов в их различных вариациях – «кавказская» или «горская» цивилизация, совокупность локальных «этноцивилизаций», «контактная зона» великих цивилизаций.

Более обобщенное и одновременно приближенное к практике исторических исследований понимание теоретико-методологических проблем исторического изучения Северного Кавказа развивает А.В. Лубский. Во-первых, история Северного Кавказа рассматривается в рамках общих проблем методологии «региональных историй», которые стремятся увидеть уникальное и выявить тенденции в историческом развитии региона, но при этом рассматривают своеобразие исторического развития региона в контексте целого, например, России. Во-вторых, правомерность рассмотрения Северного Кавказа в качестве предмета «региональной истории» обосновывается не путем априорного определения его «цивилизационного типа», а на основе фиксации эмпирических обстоятельств: он всегда являлся особым регионом с точки зрения государственной политики и управления, он всегда достаточно своеобразно реагировал на те изменения, которые происходили в Центре. В этом смысле при всей его внутренней культурно-исторической (этноконфессиональной) гетерогенности Северный Кавказ – целостное социопространственное образование. В-третьих, характерный для современной науки переход от монистической интерпретации исторической реальности к плюралистической подразумевает, что определение методологических оснований конкретных региональных исторических исследований – это выбор самого исследователя. Поэтому речь должна идти о возможностях тех или иных методологических ориентаций, об утверждении принципов дополнительности и альтернативности в этой отрасли исторического научного знания. Сам А.В. Лубский анализирует применимость к региональной истории различных моделей исторического исследования – классической (объективистски, социоструктурно и номологически ориентированной), неклассической (субъективистски, социокультурно и антропологически ориентированной) и неоклассической (ориентированной на синтез первых двух подходов при опоре на принцип холизма и понимание нелинейности исторического процесса), и отдает предпочтение последнему [12, 47–53].

Обзорное либо специальное и отчасти самодовлеющее рассмотрение теоретико-методологических проблем вполне оправдано с точки зрения общих задач развития исторической науки и профессионального самосовершенствования историка. Однако, как представляется, есть один аспект анализа условий эффективного участия «знания методологического» в формировании «знания предметного», который до сих пор не подвергался развернутому обсуждению в литературе. Речь идет о спецификации методологического инструментария применительно не только к объекту и предмету познания, но и к характеру и особенностям – к «жанру» той или иной исторической работы. В рамках вопроса о соотношении принципов и методов исторического исследования коснулся этой темы Н.А. Мининков, указав, что выбору методов исследования на основе научных его принципов предшествует «выбор другого рода». Он заключается в свободном творческом выборе историка, выборе жанра своего труда или исследования. Но обосновывается это суждение ссылкой на то, что «исследование может осуществляться как средствами науки, так и средствами литературы». Иными словами, здесь подразумевается необходимость соблюдать грань между научным и литературно-художественным «жанрами» [8, 191].

В данной же статье речь идет о различении «жанров» или типов научных работ. В частности, отдельного рассмотрения требуют вопросы теоретико-методологического обоснования обобщающих трудов не только по истории масштабных культурно-исторических общностей (таких, как Северный Кавказ), но и по истории отдельных народов и республик региона. В данном случае действительно необходимо предварительное определение концептуальных рамок и принципов интерпретации, организации и представления обширного исторического материала. Во-первых, предмет и задачи обобщающих работ, как правило, подразумевают либо широкий пространственный охват весьма отличных друг от друга социально-культурных единиц исторического процесса (народов, обществ, политических образований); либо необходимость рас-

смотрения в единстве различных аспектов или уровней исторического процесса (хозяйственных, социальных, культурных, политических); либо необходимость реконструировать содержание и формы эволюции указанных аспектов в их преемственности и видоизменениях, происходивших поэтапно на протяжении достаточно длительных временных отрезков. Во-вторых, сама идея обобщающего труда по истории устойчивых социопространственных, социокультурных и политических образований в качестве своей предпосылки имеет концепт определенного «исторического индивидуума», говоря языком классического немецкого историзма. Такой концепт не может быть обоснован непосредственно материалом источников и не должен сводиться к чьей-либо субъективной «интуиции целого». Без теоретической и методологической обработки эмпирических и мировоззренческих составляющих предмета обобщающего труда его целостное и одновременно структурированное представление было бы невозможно. Наконец, обобщающий труд представляет собой согласованный свод научных результатов, полученных многими специалистами, и сам, как правило, носит коллективный характер. Иными словами, он может рассматриваться как воплощение парадигмы, по поводу которой в данном научном сообществе уже сложился или еще должен быть достигнут определенный консенсус. Следовательно, без анализа «оснований» здесь не обойтись.

Постановка теоретико-методологических проблем в контексте решения конкретной познавательной задачи вводит анализ в более строгие рамки. Тем самым несколько ограничивается «блеск и необязательность» теоретической эрудиции, но взамен приобретает предметность и последовательность. В свое время И.Д. Ковальченко указывал на необходимость различения научных методов, направленных на оперирование с имеющимся научным знанием и методов, используемых для получения нового знания. В качестве главной задачи в первом случае он рассматривал установление того, насколько ранее полученное знание отражает реальность, а во втором – обеспечение возможности получения истинного знания [13, 38–39]. Риторически заостряя эту мысль, можно было бы ввести различие между двумя типами познавательного интереса к прошлому – «историческим познанием» с одной стороны и «познанием истории» с другой. В первом случае подразумевается стремление к обретению первичного или нового знания о любом конкретном фрагменте прошлой социальной реальности, что возможно только на основе обращения к первоисточникам. Условия, принципы, методы реализации исследовательского процесса, нацеленного на обретение нового и максимально достоверного знания, являются предметом методологии истории в узком и конкретном смысле [8, 93]. Во втором случае речь идет о потребности в систематизации, упорядочении и интерпретации совокупности уже накопленных исторических знаний о том или ином объекте познавательного интереса, в пределах – о совокупном прошлом всего человечества. Здесь в силу вступают категории методологии в широком смысле этого слова, обнимающие, по характеристике И.М. Савельевой и А.В. Полетаева, «аналитические концепции исторического процесса, способы познания причинных и структурных связей, теоретический анализ прошлых обществ и процессов перехода от одного типа общества к другому, модели, объясняющие динамику и статику истории» [14, 61].

Синтез как ключевая проблема методологии обобщающих трудов

Но и в пределах методологии в указанном ее понимании требуется дальнейшая конкретизация аспектов и задач теоретического анализа. Представляется, что в нашем случае он должен быть направлен преимущественно на поиск путей и форм воплощения исторического синтеза. В самом деле, само описание познавательных процедур в определении методологии в широком смысле слова показывает, что их логическая функция является скорее синтетической, а не аналитической. Дополнительная аргументация здесь вряд ли нужна.

Разумеется, проблема исторического синтеза принадлежит к числу давних, а может быть, и «вечных» проблем научного познания. В классическом руководстве по методике и методологии исторического исследования Ш.-В. Ланглуа и Ш. Сеньобоса оно рисовалось как состоящее из двух видов познавательных процессов – аналитических и синтетических [15, 210–211]. По Ланглуа и Сеньобосу, историк осуществляет синтетические операции, опираясь на аналогии

между доступной ему непосредственно современной реальностью и воображаемой картиной прошлого. Его цель сводится к максимально полной реконструкции определенного фрагмента прошлой реальности и не предполагает решения каких-либо теоретических задач. Но к этому времени делались уже попытки исторического синтеза иного рода, построенные на приложении к историческому материалу теоретических схем, направленных на его глобальное объяснение. Здесь достаточно указать на марксистскую теорию исторического процесса и на идею «культурно-исторического синтеза» К. Лампрехта. Обе эти теории были предметом оживленных и острых дискуссий в общественно-научной и исторической мысли рубежа XIX–XX вв.

В XX в. ориентация на исторический синтез оказалась связана с попытками представить исторический процесс в его непосредственной целостности. На историософском уровне они выразились в постулировании того, что человеческая история структурирована определенными культурно-историческими «монадами» – цивилизациями. В построениях О. Шпенглера и А. Тойнби цивилизации предстают в качестве сложных и эволюционирующих, но тем не менее целостных, локализованных в пространстве и времени единиц всемирно-исторического процесса.

В рамках академической историографии основной вектор в поисках исторического синтеза был задан идеей «тотальной истории», высказанной основоположниками школы «Анналов». Внутренним богатством этой идеи обусловлено то обстоятельство, что в дальнейшем она реализовалась в различных исследовательских программах, предложивших либо социологическую (социоисторическую), либо социокультурную, либо антропологическую ее интерпретацию. Поиски исторического синтеза реализовались соответственно в первом случае – через вычленение социальных целостностей, задающих объективные структурные условия человеческой деятельности; во втором – через идентификацию и «прочтение» символических систем, культур, обеспечивающих ориентацию и придающих смысл социальным действиям; в третьем – через проникновение в субъективный опыт человека, «переживающего» исторические сдвиги своего времени.

С 1960-х годов ведущая роль в разработке различных вариантов исторического синтеза принадлежала «новой социальной истории» [16]. Однако в 1970-е гг. происходит сдвиг интересов историков от изучения структурных изменений к исследованию представлений, ценностей, моделей человеческого поведения. Складывается ситуация сосуществования и соперничества двух парадигм социальной истории: социологически ориентированной социально-структурной истории и антропологически ориентированной социально-культурной истории [17, 11]. Одновременно развивались другие два процесса, существенно повлиявшие на подходы к решению проблем исторического синтеза. Во-первых, происходило бурное расширение предметно-тематических интересов, внутренняя специализация и тенденция к фрагментации предметного поля социальной истории. Во-вторых, – ломка общекультурной парадигмы модернизма и переход к постмодернистской культуре.

С одной стороны, ряд виднейших представителей современной исторической науки в этих условиях продолжали поиск путей к историческому синтезу и предложили ряд плодотворных концепций. Вместе с тем, по наблюдению Л.П. Репиной, в разнообразных программах исторического синтеза 1970–1980-х гг. предполагалось, что целостная, тотальная история должна присутствовать не в самих конкретных исследованиях, а как бы «на горизонте» как сверхзадача, как их совокупная генеральная программа [17, 11–15].

В последней трети XX века под воздействием постструктурализма и постмодернизма в рамках академической историографии складывается оппозиция исторической культуре модернизма, которая выражалась, в частности, в утверждении множественности истолкования культурного текста, его постижения средствами индивидуального субъективного восприятия, в реабилитации интуитивизма и идиографизма, в обращении к деталям, в переходе от системных теорий к признанию множественности языков описания [18, 40]. Вне рамок постмодернистского дискурса также высказываются сомнения относительно того, что «синтез – это достоинство, а фрагментация – недостаток» [19, 256].

Последствия этих процессов для профессиональной самоидентификации современных российских историков и для судеб идеи исторического синтеза нашли выражение в опубликованном сравнительно недавно ярком манифесте с призывом к методологической переориентации исторической науки [20]. Автор этого манифеста призывает стремящихся к синтезу историков задуматься, зачем и для кого нужны такие труды? Кто и с какой целью станет их читать? Ведь общий кризис исторической науки, который был ясно виден еще в первой четверти XX века, не прекратился, напротив, можно говорить о его усилении – целевая составляющая исторических исследований размылась еще более. Ответ мог звучать таким образом, что любые социальные и культурные (национальные) общности, нуждающиеся в установлении или поддержании идентичности, являются потенциальной аудиторией «синтезных», обобщающих историй, связывающих воедино их прошлое и настоящее. Действительно важный для историка вопрос заключается в том, есть ли возможность рационально обосновать выбор той или иной позиции в этой системе координат, не сводя его к акту сознательного воления, отнесенного только к некоей иррациональной сверхценности? Такую возможность дает, в частности, обращение к понятию «дисциплинарной матрицы» исторической науки, разработанному немецким историком и методологом Й. Рюзенем.

Дисциплинарная матрица представляет процесс исторического познания, развивающегося по кругу, который обнимает собой и жизненную практику, и академическую дисциплину. Познавательный интерес к прошлому порождается тем, что цели и стремления людей, социальных и национальных групп и целых обществ выходят за рамки текущей ситуации, а их последствия не совпадают с первоначальными намерениями. Отсюда потребность в ориентации во временном измерении современного мира. Ответ, который дает на эту потребность академическая историография, неизбежно опосредован перспективой, теориями, категориями, которыми руководствуются профессиональные историки в своем общем понимании прошлого, а конкретные исследования проводятся в соответствии со строго определенными процедурами, правилами, методами. Таким образом, между потребностями жизненной практики и научным исследованием имеется не только очевидная связь, но и достаточно жесткая грань. Оно не просто удовлетворяет потребность социальных субъектов в самоидентификации и ориентации, но производит и некий «теоретический излишек», который выходит за пределы частного практического интереса и составляет определенное рациональное достижение, приобретающее непреходящее значение. Форма представления полученного исторического знания должна обеспечивать возможность его критической проверки со стороны профессионального сообщества. Но главное заключается в том, что оформленный результат исследования как бы возвращается в сферу жизненной практики и выполняет функцию культурной ориентации и поддержания исторической идентичности данного социального субъекта [21–22].

Вышеизложенное позволяет указать на первый существенный изъян в построениях Д.М. Володина. Они предполагают выведение из сферы рационального анализа, критики и обсуждения основополагающих и ориентирующих элементов исторического исследования – «сверхценностей». Второй существенный изъян связан с идеей «глобальной архаизации». Она исходит из допущения, что уже завершены процессы глобальной модернизации, а возврат к традиции может быть реализован через индивидуальный выбор того или иного историка.

В глобальном историческом процессе вряд ли можно усмотреть подобную цикличность. Для многих частей современного мира, включая и Северный Кавказ, речь идет не об исчерпанности модерна, а о его фрагментарности и незавершенности. В этих условиях предписывать историку ориентацию только на ценности традиции означало бы такое сужение интеллектуальных горизонтов, которое не может быть преодолено соблюдением методических и технических стандартов анализа источников. А если ставить этот вопрос применительно к задаче построения обобщающих трудов по региональной или национальной истории, то несостоятельность рассматриваемого подхода становится еще более очевидной.

Автор формулы «модерн – незавершенный проект» Ю. Хабермас подчеркивал, что философия истории XVIII в., направленная на реконструкцию истории человеческого рода, и теория общества XIX в. обобщили опыт, который в XX в. не только не устарел, но и становится еще более актуальным. В этом опыте отражаются процессы модернизации, которые осуществлялись вместе с капиталистическим способом производства и с утверждением буржуазного общества. Проекты философии истории XVIII в., эволюционные теории общества XIX в. постулировали реальность всемирно-исторического субъекта, который в ходе прогресса, преодоления кризисов и самоосвобождения путем критики созидает сам себя. Ю. Хабермас объясняет это как результат перенесения на историю натурмифического мышления, исходящего из единства мира. Вместе с тем он считает, что универсальное единство истории на земном шаре сегодня является реальностью, однако – ставшей реальностью. Единство истории – это результат, а не что-то изначально гарантированное благодаря деятельности субъекта, который в процессе воспитания сам себя созидает. В качестве реального субстрата развития выступают социокультурные системы, несущие как всеобщие системные качества, так и специфические характеристики. Поэтому единство мировой истории не является механическим результатом процессов структурной дифференциации и системной интеграции. Оно предполагает попытку «соединить развитие социокультурных систем с модусом управления, основанного на саморефлексии, носящей форму политического рассуждения, результаты которого получают политическую институционализацию в виде самосоздающихся, находящихся на высокой ступени развития интерсубъективных общностей». Базисный механизм, делающий возможным подобное развитие, заключается в том, что всякий способный к познанию и целенаправленно действующий субъект (индивидуальный или социальный) «не может не учиться» [23].

В рассуждениях Ю. Хабермаса для нас одинаково важны и тезис об актуальности опыта модернизации для современного исторического мышления, и рассмотрение основных проблем философии истории в их отнесении к определенному историческому субъекту. Выше указывалось, что сама идея обобщающего труда в качестве своей предпосылки имеет концепт «исторического индивидуума». Логика немецкого философа открывает возможность отправляться в ходе его идентификации от актуального эмпирического опыта, от «субъектной» структуры современной социально-политической реальности. Но осознание тем или иным субъектом своей историчности должно быть результатом рациональной рефлексии, т.е. научного исследования прошлого, результаты которого не предопределены заранее.

Здесь необходимо вернуться к вопросу об особой роли синтеза в построении обобщающей истории Северного Кавказа. Очевидно, что это сложная многоаспектная проблема. Ведь речь идет о необходимости дать единую интерпретацию тенденций развития, выражающих социокультурную целостность, самобытность субъектов регионального исторического процесса и их открытость воздействию многообразных все более интенсивных внешних влияний; проследить масштабность и разнообразие форм социально-культурной динамики в широчайших временных рамках и соотнести их с единым преемственным субъектом исторических трансформаций; отразить взаимосвязь и содержательную общность явлений и процессов, конституирующих Северный Кавказ в качестве определенной исторической области, и их внутреннее многообразие применительно к субрегиональным социально-историческим организмам. Причем в данном случае целостная история должна присутствовать не «на горизонте» как сверхзадача, а непосредственно в структуре и тексте обобщающего труда. О трудностях решения подобной задачи писал ведущий представитель школы «новой локальной истории» Ч. Фитьян-Адамс: тот, кто пытается согласовать результаты изучения историй множества локальных обществ с национальной английской историей и результатов исследования отдельных периодов с целостным представлением развития «с доисторических времен до наших дней», сталкивается с проблемой синтеза в пугающих масштабах. Решение ее предполагает высокий уровень обобщений [24, 22]. Со своей стороны французский историк Б. Лепти подчеркивал: «Написание синтетиче-

ской работы всегда означает по отношению к существующим частным исследованиям изменение объекта, а следовательно, и методологии» [25, 69].

Конкретизация направлений методологического поиска возможна на основе типологизации исторического синтеза в зависимости от целей и задач конкретной работы. В качестве предварительной гипотезы представляется возможным свести все многообразие упомянутых и не упомянутых выше вариантов исторического синтеза к трем его разновидностям – «объяснительному» (как правило, основанному на макросоциологических теориях), «объектному» (нацеленному на схватывание непосредственной целостности исследуемой единицы исторического процесса) и «субъектному» (прослеживающему историческую жизнь, путь, становление определенного исторического субъекта – народа, государства, цивилизации, регионального или локального сообщества и т.д.). Именно этот третий вариант синтеза реализуется в обобщающих историях того типа, который является предметом обсуждения в данной статье.

Прежде всего здесь возникает проблема своего рода синтеза «прошлого» и «настоящего», т.е. самосознания, опыта, концептуального аппарата, языка, которыми владеет современный историк, и источника с отраженными в нем представлениями, восприятиями, опытом прошлых поколений. Это давняя проблема, но она сохраняет свою актуальность и требует осознанного решения, поскольку затрагивает основополагающий принцип историзма – судить о явлениях прошлого в соответствии с условиями и представлениями той эпохи, к которой они принадлежат, а не той, к которой принадлежит сам историк.

Весьма глубоки и убедительны в этом плане аргументы, которые высказал один из крупнейших современных историков Ю. Кокка в ходе дискуссии между сторонниками «социально-научной» структурной истории и представителями историко-антропологического направления «истории повседневности» в ФРГ [26–28]. Во-первых, требование изучать явления прошлого только «изнутри, на их собственной почве» он считает в конечном счете нереализуемой неои-сторицистской иллюзией. Историк не имеет прямого и непосредственного доступа к прошлой реальности, а источники начинают «говорить» только в ответ на вопросы, которые он ставит перед ними. Мы должны (или вынуждены) использовать наши вопросы, наши точки зрения, наши понятия и теории. Разумеется, их следует модифицировать применительно к различным историческим субъектам, которых мы изучаем, но мы можем реконструировать прошлое только на основе анализа, соотнесенного с определенной точкой зрения, и эта точка зрения – наша, а не исторического субъекта, изучаемого нами. Ю. Кокка замечает, что «история не исчерпывается тем, что люди воспринимают и узнают», исключительно герменевтическая реконструкция смысла прошлого восприятия и опыта «не способна дать понимание истории как целого» [26, 180]. Речь здесь идет не об отказе от требований историзма, а о необходимости соединять понимание через сопереживание с пониманием через объяснение опыта прошлого. Кроме того необходимо различать условия и процедуры добывания конкретных «исторических знаний» и условия и способы упорядочения «знания истории» как целого. Во-вторых, есть проблема изучения данного явления в его взаимосвязях, в историческом контексте (второй классический принцип научного историзма). Важно понимать его во всей полноте – применительно к синхронным (структуры) и диахронным (процессы) связям и зависимостям. Только тогда изучаемое явление предстанет действительно «укорененным» в истории. И дело не только в том, что невозможно понять часть, не имея никакого представления о целом. Если не забывать, что историк так или иначе призван способствовать осознанной ориентации во времени, исторической идентичности, а значит – самостоятельности своих современников, то формирование у них ясных представлений об историческом контексте (синхронном и диахронном), в который они помещены, становится императивом его профессиональной деятельности [27, 50–52].

Синтез и проблема объективности научно-исторического знания

Иными словами, решение проблем синтеза при построении обобщающих исторических трудов выходит за рамки академического теоретизирования и предполагает выработку позиции по общественно-политическим проблемам актуальной действительности. Но в связи с этим не-

избежно возникает вопрос о возможности сохранить научную объективность при отборе, интерпретации и оценке значения исторических фактов, явлений и процессов. Очевидный ответ на этот вопрос заключается в том, что гарантией объективности является соблюдение профессиональных стандартов научно-познавательной деятельности. Именно они маркируют четкую границу между жизненной практикой, в которую историки вовлечены как личности и граждане, и академической дисциплиной, которой они занимаются как профессионалы. Видный британский историк Дж. Тош замечает, что теперь, когда битва за торжество научных критериев исторического исследования в среде профессионалов давно выиграна, практические задачи можно выполнять без ущерба для научного уровня (в том числе и потому, что профессиональные историки с чрезвычайным рвением выискивают искажения в работах коллег).

Однако применительно к случаю обобщающих исследований, охватывающих всю траекторию становления каких-либо исторических субъектов (скажем современных народов Северного Кавказа) вплоть «до наших дней», сугубо профессиональные критерии объективности, будучи абсолютно необходимыми, могут оказаться недостаточными, хотя бы потому, что некоторые элементы общеисторических интерпретаций несводимы к источниковым данным. Поэтому здесь необходимо обратиться к подходам, предполагающим поиск решения проблемы объективности исторического познания в сфере самой жизненной практики. Наиболее очевидный хрестоматийный пример – марксистско-ленинская теория о том, что мера объективности социальных теорий и исторических концепций определяется их связью с интересами «восходящих» или «нисходящих» классов и общественных систем. При всей ее идеологической нагруженности, она вовсе не лишена гносеологического смысла, но его экспликация потребовала бы громоздкого анализа. Гораздо ближе к академическим интересам находится тот подход к решению проблемы объективности, который предложил в свое время выдающийся британский историк Э.Х. Карр.

На первый взгляд неожиданно Э.Х. Карр ставит проблему объективности исторического познания в связи с обсуждением вопроса о прогрессе в истории. Но дело в том, что наука по определению представляет собой прогрессирующее накопление знаний о своем объекте. Кроме того, историческая объективность не сводится к объективности факта. Факт включается в систему исторического знания лишь постольку, поскольку историки придают ему определенное значение. Дело историка заключается не просто в установлении фактов, но и в различении реально значимых, существенных для его целей и менее существенных, «случайных» в данном исследовательском контексте фактов. Следовательно, проблема объективности лежит в плоскости отношения между фактом и его интерпретацией, а ее мера определяется тем, какие критерии значимости применяются к установленным фактам. Правда, именно по этой причине объективность не может рассматриваться как абсолютная характеристика научного знания. Но не вытекает из этого и релятивистский вывод о том, что все интерпретации равноправны, поскольку критерии значимости, прилагаемые к ним любым из историков, субъективны. Очевидно, накопление новых данных позволяет уточнять и усиливать объяснительную силу исторических концепций. Не менее важно учитывать глубинную временную структуру исторического познания как артикулированного взаимоотношения прошлого (источник), настоящего (историк в данной социально-исторической ситуации) и будущего (видение историком общей направленности исторического процесса). Историки «воображают прошлое и помнят будущее», приводит Э.Х. Карр высказывание другого крупнейшего историка XX столетия Л.Б. Нэмира. Только это «чувство направления» в истории позволяет упорядочивать и интерпретировать события прошлого (в этом задача историка), высвобождать и организовывать энергию современников с прицелом на будущее (задача государственных деятелей, экономистов, социальных реформаторов). В таком контексте мера объективности историка определяется двумя обстоятельствами. Во-первых, его способностью в полной мере и ясно представлять ту социальную и историческую ситуацию, в которую он включен. С одной стороны, это позволяет осознать пределы доступной для него объективности. С другой – для него становится возможным критически ос-

мыслить и как бы «подняться над» ограниченностью собственной позиции, приближаясь к большей объективности. Во-вторых, тем, насколько глубоко проникает в будущее его видение современных проблем и путей их решения. От этого зависят глубина и жизнеспособность истолкования прошлого в предлагаемых им концепциях. «Более объективными» являются те концепции, которые основаны на «более долговременном видении прошлого и будущего» [29, 119–123].

Может показаться, что речь здесь идет о том, что историк должен делать выбор между различными точками зрения на политических основаниях [19, 359]. Но акту индивидуального выбора между различными точками зрения должен предшествовать общественный процесс формирования и формулирования этих точек зрения. Если этот процесс отождествляется с самой историей, «точки зрения» (идентичности) различных групп и лиц оказываются их «судьбой», возможность рационального выбора для личности элиминируется или приравнивается к предательству, а политический выбор, сделанный сообществом, в целом подразумевает подавление тех или иных идентичностей. Если же он разворачивается как процесс общественного обсуждения различных «проектов будущего» для данного сообщества, участники которого должны следовать требованиям коммуникативной рациональности, чтобы суметь убедить своих оппонентов, то происходит не столько подчинение научной методологии соображениям политической целесообразности, сколько привнесение научной культуры исследования проблем в социальную практику.

Насколько актуальна для историков Северного Кавказа задача «помнить будущее», обращаясь к реконструкции прошлого, можно видеть из синоптического видения текущей социо-исторической ситуации в регионе, предложенной в одной из недавних статей В.В. Черноуса. Этногенез и политогенез народов Северного Кавказа уходит в глубокую древность, – указывает он, – но за период пребывания в составе России у них сформировалась российская идентичность как в политическом, так и в социокультурном ее воплощении. Крах социалистической системы, распад СССР вызвали глубокий кризис идентичности на Северном Кавказе. В ходе охватившей регион этнической мобилизации здесь сформировалась целая цепочка идентичностей – этнонациональная, северокавказская, российская и общекавказская, и произошло возрастание религиозной идентичности как одной из основ этничности. Со второй половины 90-х годов XX в. начался процесс восстановления роли российской идентичности, что было обусловлено установлением функциональной стабильности. Российская идентичность на Северном Кавказе определяется сохранением пусть и сегментированного, единого социокультурного пространства, надеждой на обеспечение безопасности как личности, так и этносов, надеждой на переход к устойчивому развитию, обеспечением на этой основе благополучия и личных перспектив для человека. Эти надежды связаны с укреплением власти, удачной экономической конъюнктурой, признаками экономического роста. Вековое взаимопроникновение культур народов создает иммунитет, который способен преодолеть настроения взаимообусловленной ксенофобии (русофобии, кавказофобии, исламофобии) и восстановить российскую идентичность как общегражданскую и как свойство этнокультурного синтеза.

Но реконструкция российской идентичности на Северном Кавказе сталкивается с новыми вызовами. Ослабление российской идентичности стимулировало этноэтнические, региональные панэтнические, сепаратистские, исламистские идеологии, политические и геополитические проекты. В борьбе с терроризмом не удастся добиться решающего перелома. Этнополитическая ситуация остается в национальных республиках кризисной и малоперспективной для модернизированных, квалифицированных слоев населения. Возможности, открываемые политической консолидацией и экономическим восстановлением, не используются в полной мере. Относительное ослабление России в условиях динамично меняющейся геополитической ситуации придает ярко выраженную альтернативность вариантам обеспечения национальной и региональной безопасности. Идет процесс вхождения государств Южного Кавказа в состав «расширенной Европы», а Турция при поддержке США добивается вступления в ЕС. Существуют

привлекательные западные инвестиционные проекты для Кавказа и гарантии безопасности со стороны НАТО. В случае реализации этих проектов резко ослабеет российская идентичность не только в Абхазии и Южной Осетии, но и у народов Северного Кавказа, получит новый импульс пантюркизм уже как сегмент европейской идентичности и т.д. И это на фоне того, что Российская Федерация не может на практике в полной мере гарантировать безопасность и благополучие ни своим гражданам на Южном Кавказе, ни своим субъектам Федерации на Северном Кавказе [30].

Можно было бы спросить, сколько «прошлых» имеет такое «настоящее» и сколько разных, но в одинаковой мере «объективных историй» региона может быть написано сегодня? Инструментальное отношение к истории как к кладовой, из которой можно время от времени извлекать понадобившуюся вещь, чтобы использовать ее (в качестве аргумента или в качестве оружия), лишает историю статуса «ставшей» реальности, объективной по отношению к современности. В прямой связке с тем или иным актуальным интересом в ранг общеисторической парадигмы могут быть возведены не только более или менее крупные исторические явления, но также исторические «частности».

С общественной точки зрения важно стремиться к максимально «широкому» видению проблемы. Если ограничивать свой взгляд горизонтом текущей ситуации, то действительно можно оказаться в тисках познавательного скептицизма или субъективного произвола в интерпретации прошлого. Но если ориентироваться на будущее, в котором сохраняется возможность неконфликтного взаимодействия альтернативных программ, диалога социокультурных и политических субъектов «текущей истории», поддержания сложных, «многомерных» структур личной и групповой идентичности, то появится возможность различать «более» и «менее» объективные истории. Внутреннее богатство и «подвижность» такого будущего препятствуют редуцированию прошлого в простое обоснование какого-либо фундаментализма – державного, этнического, религиозного или идеологического. Предмет исторического анализа проблематизируется, поскольку проблемой, требующей решения, является искомое будущее. Познавательный интерес, направленный не на доказательство готовой истины, а на обобщение опыта прошлого, требует тщательного выявления и учета всех значимых фактов – как соответствующих, так и противоречащих той «идее будущего», которая положена в основу общей интерпретации исторического процесса.

В рамках собственно профессионального академического знания, чтобы защитить его от прямого вторжения общественно-политической актуальности и частного интереса, необходимо соблюдать определенные условия конкретно-научного и методологического характера.

«Концепты исторического смысла» и научная методология

С конкретно-научной точки зрения, построение или применение любых моделей, интерпретирующих всю историческую траекторию данного социального образования (общества, государства, региона, народа) должно соотноситься со всей суммой накопленного эмпирического (источникового) и концептуального (историографического) знания о нем. Обобщающие труды должны быть вписаны в прогрессирующий процесс накопления научных знаний о предмете. Никакие новые «подходы» или «переосмысления», предполагающие простое игнорирование или отбрасывание этого знания, не могут претендовать на фундаментальное значение ни в плане подведения итогов, ни в плане постановки новых проблем.

С методологической точки зрения, общие интерпретации истории строятся, по Й. Рюзе-ну, вокруг тех или иных «концептов обозначения» и «концептов исторического смысла». Их функция состоит в экспликации представлений о базовых характеристиках изучаемого предмета: об общей направленности исторического процесса и о единстве (самотождественности) его субъекта. Научная историография не удовлетворяется интуитивными и произвольными идеями на этот счет, а опирается на социологические категории, социально-исторические теории, в явном виде демонстрирующие свои эмпирические и логические основания, поддающиеся рациональному обсуждению и проверке посредством рациональных процедур. Можно было бы ска-

зять, что такого рода (научные) концепции не только определенным образом устанавливают связь истории и современности, но и служат своеобразной логической мембраной, «отделяющей» их друг от друга.

Что касается обоснованного выбора единицы исторического анализа при построении «синтезных» концепций истории народов Северного Кавказа, перспективной представляется опора на определенные «концепты обозначения» в рамках цивилизационного подхода. Речь идет о концепции движения «Анналов», интересовавшегося не столько формами и модальностью социальных изменений, сколько идентификацией устойчивых систем. Под цивилизацией здесь понимается социокультурная целостность произвольного масштаба, воплощенная в образе жизни и типе ментальности, которые связаны в свою очередь с естественно-географической, демографической и социально-политической средой, с хозяйственно-экономическими и политическими способами выживания в условиях этой среды [31, 45].

Цивилизационный подход в такой трактовке хорошо согласуется с современными представлениями теоретической социологии и философии истории об основной единице социологического и исторического анализа – обществе. В различных вариантах построения более конкретных представлений об объекте социально-исторического познания можно обнаружить некоторые общие черты. Во-первых, это стремление в более полной мере учитывать, что любые социально-исторические образования представляют собой не жестко отграниченные друг от друга самодостаточные единицы, а открытые системы высокой степени сложности; что они всегда включены в более широкие интерсоциальные системы различного уровня – от локально-регионального до мирового. Во-вторых, из этого следует, что каждая выделенная таким образом социально-историческая система имеет собственную, «индивидуальную» историческую траекторию, которая в ее конкретном виде не выводима из каких-либо общих законов и вместе с тем не поддается полному объяснению на основе только внутренних для данной системы причинно-следственных связей [32–33].

Следует подчеркнуть еще одно обстоятельство. Применительно к Северному Кавказу речь идет о социальных системах, которые на всем протяжении своей истории сохраняли относительно локальный характер и никогда не имели собственно политических (государственных) границ, способных «закрывать» их от окружающей социально-политической среды. Их историческая устойчивость обеспечивалась именно механизмами социокультурного (цивилизационного) воспроизводства. Терминологически предпочтительным представляется все же не определение «цивилизация», а понятие «социоцивилизационная система», которое более адекватно отражает локальный, маломасштабный характер описываемых систем.

Если обратиться к изучению «форм и модальностей социальных изменений» в каждой этнорегиональной системе и на Северном Кавказе в целом, то невозможно отказаться от применения «концептов исторического смысла», разработанных в рамках теории модернизации. Здесь необходимо оговорить два момента.

Во-первых, конкретно-исторический анализ не может замыкаться на абстрактно-нормативном противопоставлении традиции и *modernity*, а предполагает опору на «эмпирическое» понимание социально-исторического развития в Новое время (то есть «модернизации») как дифференциации в культурном, социальном и личностном измерениях общественной жизни (индустриализации, урбанизации, усложнения социально-профессиональной структуры и т.д.).

Во-вторых, теория модернизации получила существенное развитие в последние десятилетия и приобрела зрелые формы, включающие принцип сохранения национальной и цивилизационной самобытности в ходе модернизации [34].

Таким образом, синтез цивилизационного и модернизационного подходов может успешно реализовать функции «концептов обозначения» и «концептов исторического смысла» при построении общих интерпретаций истории народов Северного Кавказа. Цивилизационный (социокультурный) анализ позволяет зафиксировать исторически длительное существование этноспецифических социокультурных целостностей, воплощенных в образе жизни и типе мен-

тальности народов Северного Кавказа, устойчивое воспроизводство этнокультурных основ их национальной идентичности. Вместе с тем он отражает культурную, цивилизационную значимость сети многообразных отношений, связывающих различные народы в пределах российского государства. Модернизационный подход позволяет отслеживать процессы развития и дифференциации в различных измерениях общественной жизни, а также возрастающую открытость культурной системы того или иного этнического социума на пути от традиции к современности. Признание модернизации в качестве доминирующего вектора общероссийского исторического процесса в новое и новейшее время не предписывает однозначной трактовки ее динамики и социокультурных последствий для различных этнорегиональных сегментов российского общества.

Представляется, что научное сообщество историков Северного Кавказа не может уклониться от необходимости определить свое отношение к модернизационной и цивилизационной парадигмам современного социально-исторического мышления. Но не только потому, что они весьма влиятельны в мировой науке.

Эти подходы могут быть последовательно соотнесены как с современными потребностями народов региона в выборе перспектив своего дальнейшего развития, так и с объективным процессом разделения исторических альтернатив в нашем прошлом. Вопросы, обращаемые к истории в рамках этих концепций, действительно «возникают», их ставит сама жизнь.

Они, далее, ориентируют на то, чтобы в познании прошлого отправляться «от более известного к более темному» и позволяют базировать необходимую для исследователя «перспективу целого» на реальных исторических результатах исследуемого процесса. Заложенное в этих подходах понимание «настоящего» народов Северного Кавказа как социокультурной целостности, включающей элементы и характеристики традиционного и современного, общего и специфического, национального и интернационального, достаточно устойчиво к идеологизации и тяге к этноцентризму. Оно не носит сугубо априорного характера (не выводится, скажем, из «объективных законов» истории) и может быть представлено как эмпирическая констатация.

Весьма существенно и следующее. Модернизационная и цивилизационная парадигмы в их современном зрелом состоянии не полагают своей абстрактной всеобщности, не представляют собой жестких логических конструкций, претендующих на универсальную значимость и «правильность». Напротив, характерное для них содержательное и методическое многообразие оставляет возможность выбора вариантов концептуализации, наиболее адекватных конкретно-историческому объекту исследования.

Отмеченная особенность модернизационной и цивилизационной парадигм несет и другой аспект, возможно, наиболее важный для истории Северного Кавказа. Эти подходы исключают прямую экстраполяцию концептуальных схем общероссийского масштаба (Российской империи—СССР—РФ) на историю народов Северного Кавказа. В самом деле, концепции российской цивилизации, базирующиеся на характеристиках ее цивилизационного ядра (собственно России), очевидно, неприменимы к социоцивилизационной системе этих народов [35]. Равным образом характеристики процесса модернизации в социетальном центре огромного евразийского пространства раскрывают не столько содержание, сколько внешние факторы модернизационных трансформаций его «периферии», а точнее, историко-цивилизационных ареалов [36]. Нет необходимости развивать все явно возникающие отсюда соображения. Главное состоит в следующем. Освоение модернизационного и цивилизационного подходов позволяет реконструировать историю каждого из народов страны в ее непрерывности и несводимости к социально-историческому и человеческому содержанию развития в масштабах нашего государства в целом.

Нельзя априорно определить истинность избираемой методологии. Аргументом в ее пользу скорее служит то, в какой мере она позволяет увидеть проблематичность наличных представлений, позволяет не «снять» вопросы, а поставить их, сформулировать проблемы. Модернизационная и цивилизационная парадигмы обладают этим свойством. Их следует воспринимать не в качестве теоретического «обобщения» или объяснительной схемы, а в качестве ис-

следовательской программы. И прежде всего в этом качестве они важны для построения новой концепции национальной истории и России в целом, и отдельных народов.

Синтез традиционных и «модернистских» ценностей необходим и для построения реалистичной стратегии национального развития народов Северного Кавказа на перспективу XXI века. Ее основой должны стать учет современных мегатенденций мировой динамики и мобилизация внутренних социокультурных ресурсов, способных обеспечить включенность в модернизационное развитие при сохранении своей культурно-исторической идентичности.

Библиография

1. Аймермахер К., Бордюгов Г. «Свое» и «чужое» прошлое. Введение // Национальные истории в советском и постсоветских государствах. – М.: АИРО-XX, 1999. – С. 13–20.
2. Шнирельман В.А. В поисках престижных предков: этнонационализм и школьные учебники // Ответственность историка: преподавание истории в глобализирующемся обществе. – М.: ИВИ РАН, 2000. – С. 151–166.
3. Гатагова Л. Северный Кавказ: метаморфозы исторического сознания // Национальные истории в советском и постсоветских государствах. – М.: АИРО-XX, 1999. – С. 257–274.
4. Дегоев В.В. Социально-политические вызовы XXI века и пути развития российского кавказоведения // Кавказ в российской политике: история и современность. – М.: Русская панорама, 2007. – С. 17–34.
5. Боров А.Х. Историческая наука Кабардино-Балкарии: к постановке теоретико-методологических проблем // Вестник КБГУ. – Сер. Гуманитарные науки. – Вып. 2. – Нальчик: Каб-Балк. ун-т, 1996. – С. 83–92.
6. Аникеев А.А., Лубский А.В. Теоретические поиски в современной исторической науке и проблемы изучения истории Северного Кавказа // Научная мысль Кавказа. – 1997. – № 3. – С. 53–64.
7. Кавказский регион: проблемы культурного развития и взаимодействия // Научная мысль Кавказа. – 2000. – № 2. – С. 19–74.
8. Мининков Н.А. Методология истории: пособие для начинающего исследователя / отв. ред. И.М. Узнародов. – Ростов-на-Дону: СКНЦ ВШ, 2004. – 252 с.
9. Лубский А.В. Альтернативные модели исторического исследования / отв. ред. Ю.Г. Волков. – М.: Социально-гуманитарные знания, 2005. – 352 с.
10. Булыгина Т.А. История Северного Кавказа: новые исследовательские подходы // Кавказоведение: опыт исследований: материалы международной научной конференции (Владикавказ, 13–14 октября 2005 г.). – Владикавказ, 2006. – С. 35–42.
11. Шеуджен Э.А. Путь в историю: в поисках методологии исследования. – Майкоп: Качество, 2007. – 268 с.
12. Лубский А.В. Методологические проблемы изучения региональной истории // Актуальные и дискуссионные проблемы истории Северного Кавказа / отв. ред. В.В. Черноус // Южнороссийское обозрение Центра системных региональных исследований и прогнозирования ИППК ЮФУ и ИСПИ РАН. – Вып. 45. – Ростов-на-Дону, 2007. – С. 37–53.
13. Ковальченко И.Д. Методы исторического исследования. – М.: Наука, 2003. – 486 с.
14. Савельева И.М., Полетаев А.В. История и время. В поисках утраченного. – М.: Языки русской культуры, 1997. – 800 с.
15. Ланглуа Ш.-В., Сеньобос Ш. Введение в изучение истории. – М.: Гос. публ. ист. б-ка России, 2004. – 305 с.
16. Репина Л.П. «Новая историческая наука» и социальная история. – М.: ИВИ РАН, 1998. – 278 с.
17. Репина Л.П. Социальная история на пороге XXI века: от междисциплинарного анализа к новому историческому синтезу // Социальная история: проблема синтеза / отв. ред. В.В. Согрин. – М.: ИВИ РАН, 1994. – С. 10–21.

18. Зверева Г.И. Морфология социальной истории // Социальная история: проблема синтеза / отв. ред. В.В. Согрин. – М.: ИВИ РАН, 1994. – С. 35–45.
19. Мегилл А. Историческая эпистемология. – М.: Канон⁺, Реабилитация, 2007. – 480 с.
20. Володихин Д.М. «Призрак третьей книги»: методологический монизм и «глобальная арханизация» // Диалог со временем. Альманах интеллектуальной истории. – Вып. 9. – М., 2002. – С. 51–66.
21. Рюзен Й. Утрачивая последовательность истории (некоторые аспекты исторической науки на перекрестке модернизма, постмодернизма и дискуссии о памяти) // Диалог со временем. Альманах интеллектуальной истории. – Вып. 7. – М., 2001. – С. 8–26.
22. Megill A. Jorn Rusen's Theory of Historiography: Between Modernism and Rhetoric of Inquiry // History and Theory. – 1994. – Vol. 33. – № 1. – P. 31–44.
23. Хабермас Ю. О субъекте истории: краткие замечания по поводу ложных альтернатив // Философия истории. Антология. – М.: Открытое общество, 1995. – С. 283–289.
24. Phythian-Adams Ch. Time, Society and Nation: Conceptualizing English Social History // Социальная история: проблема синтеза / отв. ред. В.В. Согрин. – М.: ИВИ РАН, 1994. – С. 22–34.
25. Lepetit B. Macro-analysis, Micro-analysis and the Problem of Generalization in Social History // Социальная история: проблема синтеза / отв. ред. В.В. Согрин. – М.: ИВИ РАН, 1994. – С. 63–72.
26. Кокка Ю. Социальная история между структурной и эмпирической историей // THESIS. – Весна 1993. – Т. 1. – Вып. 2. – С. 174–189.
27. Cocka J. A controversy within social history and the need for context // Социальная история: проблема синтеза / отв. ред. В.В. Согрин. – М.: ИВИ РАН, 1994. – С. 46–54.
28. Ким С.Г. В поисках интегральной версии историописания (по материалам немецкой науки 1990-х годов) // Диалог со временем. Альманах интеллектуальной истории. – М., 2002. – Вып. 9. – С. 30–50.
29. Carr E.H. What is history? – L.: Penguin Books, 1967. – 159 p.
30. Черноус В.В. Российская идентичность на Кавказе: вызовы и ответы XXI в. // Россия и Кавказ: История и современность. Материалы научной конференции, 11–12 ноября 2004 года. – Владикавказ, 2005. – С. 312–316.
31. Ионов И.Н. Теория цивилизаций: этапы становления и развития // Новая и новейшая история. – 1994. – № 4–5. – С. 28–47.
32. Гидденс Э. Девять тезисов о будущем социологии // THESIS. – Зима 1993. – Т. I. – Вып. 1. – С. 57–82.
33. Валлерстайн И. Социальное изменение вечно? Ничто никогда не изменяется? // Социс. – 1997. – № 1. – С. 8–21.
34. Побережников И.В. Переход от традиционного к индустриальному обществу: теоретико-методологические проблемы модернизации. – М.: «Российская политическая энциклопедия» (РОССПЭН), 2006. – 240 с.
35. История России. Теоретические проблемы. Вып. 1: Российская цивилизация: Опыт исторического и междисциплинарного изучения / отв. ред. А.С. Сеньковский. – М.: Наука, 2002. – 240 с.
36. Опыт российских модернизаций. XVIII–XX века. – М.: Наука, 2000. – 246 с.

РУССКИЕ ДЕЛОПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ МАТЕРИАЛЫ XVII ВЕКА О БАЛКАРИИ И БАЛКАРЦАХ *

Е.Г. Муратова

Статья содержит источниковедческий обзор русских делопроизводственных материалов XVII века. Осуществлен систематический анализ всех сведений, содержащихся в этих источниках, о связях балкарцев с соседними народами и Русским государством в это время. Результаты исследования являются необходимым элементом для формирования эмпирической базы научной реконструкции истории Балкарии и политической истории Северного Кавказа в XVII веке.

The article presents a source study review of XVII-th century Russian official records. All the evidence of these sources about Balkarians and their connections with neighbor peoples and Russian state is systematized and analyzed. The research results are indispensable for the forming empirical base for the scientific reconstruction of the history of Balkaria as well as political history of the North Caucasus in XVII-th century.

В течение последних десятилетий специалисты указывают на недостаточный уровень источниковедческих исследований как на один из значимых факторов, влияющих на резкие колебания историографических оценок и на разработку наиболее сложных проблем северокавказской истории. В связи с этим источниковедческий обзор русских делопроизводственных материалов XVII века, содержащих сведения о Балкарии и балкарцах, представляется актуальной исследовательской задачей.

Со второй половины XVI века в круг держав, заинтересованных в кавказских делах, вступает Российское государство. С этого времени значительно расширяется состав источников для изучения истории Северного Кавказа. Фонды Российского архива древних актов, сформировавшиеся на основе «столпов» Посольского приказа, наряду с европейскими и азиатскими делами содержат материалы, связанные с северокавказскими народами. И хотя документы о связях России с Балкарией отдельно не отложились, «балкарская тематика» эпизодически возникала в делопроизводстве российских правительственных учреждений XVII века. О балкарцах имеются фрагментарные свидетельства в делах «Сношения России с Грузией» и «Кабардинских делах». Причем в описях, составленных еще в конце XVIII–начале XIX века, в заголовках дел наличие таких сведений чаще всего никак не отражено. Лишь путем полного просмотра дел скудные свидетельства о Балкарии и балкарцах XVII в. могут быть выявлены. Следует иметь в виду, что все эти упоминания и сведения относятся к Балкарскому обществу, располагавшемуся в Черекском ущелье. В связи с этим в авторском тексте данной статьи термин «Балкария» территориально относится только к Черекскому ущелью, а в этносоциальном плане – к Балкарскому обществу.

Самые ранние сведения русских источников о Балкарии и балкарцах содержатся в документах Посольского приказа, относящихся к концу 20-х годов XVII в. Еще в первой половине XIX в. часть документов этого учреждения, касающаяся разведки месторождений серебра на Центральном Кавказе, была отослана из Москвы в Петербург академику Гамелю и осталась в его собрании, хранящемся в настоящее время в Санкт-Петербургском отделении Института ис-

* Исследование выполнено при финансовой поддержке РГНФ в рамках научно-исследовательского проекта «Балкарские общества на пути от традиции к современности (XVII–нач. XX в.)», проект 09-01-33107а/Ю.

тории РАН. На основе этих материалов была выполнена работа «Описание путешествия на Кавказ, предпринятого в 1628 г. по приказанию царя Михаила Федоровича для отыскания серебряной руды». Несколько документов из собрания Гамеля вошло в I том капитального археографического издания 1957 г. «Кабардино-русские отношения». В этих источниках, описывающих район разведки рудных богатств Центрального Кавказа, прямо указывается, что «тем де местом Балкары владеют» [1, 111–127]. Отписки терских воевод, расспросные речи в Посольском приказе, грамоты, челобитные и другие делопроизводственные материалы позволили исследователям воссоздать отдельные эпизоды социокультурной и этнополитической истории балкарцев начала XVII в. [2–5].

Документы фонда РГАДА «Сношения России с Грузией» получили широкое освещение благодаря публикациям С.А. Белокурова и М.А. Полиевктова [6–8]. Материал о русских посольствах в Грузию через территорию горских обществ содержится в так называемых статейных списках. Этот вид делопроизводственной документации представляет собой обширные письменные отчеты послов, в которых они подробно день за днем отмечали свой путь и записывали, как они были встречены, приняты, что говорили, на какие вопросы отвечали, делали отметки о выполнении данных им поручений. Определенный интерес представляют статейные списки посольства 1639–1640 гг. Ф. Елчина и П. Захарьева в Даданскую землю, где в мельчайших подробностях описан путь послов из Кабарды в Грузию через территорию горских обществ. Природные условия горного края произвели неизгладимое впечатление на путешественников: «А в Дидьянскую землю из Олегукиной Кабарды путь тесен, горы непроходимые, а конной дороги отнют нет, а пешия ходят з горям. А промеж гребней лежит снег от зачатия свету; каторой год снег идет, и тот себе слоюм облеченев и лежит, а которые снеги старые от прежних лет, и те лежат позеленев, аки турской купороской» [9, 225]. Этот источник широко привлекается исследователями при обсуждении дискуссионного вопроса о локализации балкарского и карачаевского субэтносов в середине XVII в. [10, 171; 11, 50; 12, 43; 5, 88–89]. Тематически к нему примыкает документ, извлеченный из фонда «Кабардинские дела» и впервые введенный в научный оборот в 1957 г. Е.О. Крикуновой и И.М. Павловой. Это – фрагмент отписки терского воеводы кн. И.А. Хилкова в Посольский приказ об участии мурз Казыевой Кабарды в охране посла грузинского царя Теймураза, возвращающегося из Москвы, и русского посла Федота Елчина к царю Леонтию [13].

С точки зрения истории Балкарии, несколько более информативно выглядят статейные списки посольства А.И. Иевлева и Н.М. Толочанова, посетивших Имеретию в 1650–1652 гг. [14–15]. Из этих источников становится известно, что первоначально дорогу в Грузию вместе с посланниками имеретинского царя Александра разведать астраханский толмач Иван Тезиченок, пройдя в январе 1651 г. намеченный посольством путь через заснеженные кавказские перевалы и прожив два дня в Балкарии. До Балкарии его проводил Зазорука мурза и передал под опеку балкарским мурзам Алибеку, Чеполу и Андабулу (дядьке Канбулата Черкасского). Последние проводили вестников уже до имеретинских деревень. Посетив царя Теймураза, Иван Тезиченок той же дорогой вернулся назад. Однако из Имеретии они добирались до Балкарии десять дней, «потому что снеги велики». В послании царя Таймураза, находившегося в то время в Рачи у своего зятя имеретинского царя Александра, к посланникам царя Алексея Михайловича было написано, чтобы они подождали на Тереке до весны. А как дорога откроется, то ехать им необходимо к мурзам Алибеку и Айдабуле (Андабуле) в «Болхары». Именно там он намеревался встретить царевых послов и государеву казну, ссылаясь на то, что далее Балкарии он ехать не может, «потому что не его владение».

15 апреля посольство Никифора Толочанова и Алексея Иевлева двинулось с Терека. С ними отправились и грузинские послы, им в провожатые терские воеводы дали стрелецкого сотника Михаила Молчанова с 50 стрельцами, 60 новокрещеными и 30 окочанами. А Канбулат Пшимахович Черкасский прислал двух своих узденей, чтобы проводить посольство до Анзоровой Кабарды. 30 апреля, достигнув Анзоровой Кабарды, Толочанов и Иевлев послали впереди

себя к Теймуразу с вестью толмача, которого до «Болхар» провожали балкарские владельцы Хабим (Хабитин) и Бута. Достигнув Балкарии уже на следующий день, толмач пробыл там два дня, а затем двинулся в грузинскую землю. Вслед за ним 17 мая посольство Никифора Толочанова и Алексея Иевлева также прибыло в Балкарию. В дороге их наряду с кабардинскими мурзами сопровождали балкарские владельцы «Алибек да Чаполов с братьею и детьми», а новокрещены и окочане вернулись назад. Московские послы сообщают, что путь был весьма труден: ночевали в горах, с большим трудом переправлялись через горные реки, навьюченные лошади падали в пропасть, государеву казну Иевлев и Толочанов везли на своих лошадях, а сами шли пешком. Источник сообщает, что в Балкарском обществе русских и имеретинских послов балкарские мурзы приняли с честью, разместили по своим домам. При этом московские послы уточнили, что «те мурзы не под государевою рукою, живут сами о себе». Такой статус позволил балкарским владельцам просить «государево жалованье» в обмен на обещание проводить послов и государеву казну до Грузии. В отчете о денежных расходах посольства сообщается, что трем балкарским мурзам за оказанные услуги было выдано по три аршина красного сукна, дорогой шелковой ткани и по соболу на 10 рублей. Тем временем в Балкарию прибыли гонцы с грамотами от грузинских царей и с ними двести сорок (по другому документу – 273) человек, которые пешком должны были переправить послов и государеву казну через горы в Грузию. 1 июня посольство двинулось через снежные перевалы, и до тех мест их вновь провожали балкарские владельцы «Алибек да Чаполов с братьями и с детьми; и из под-гор воротились к себе в Болхары».

Выполнив дипломатическую миссию в Грузии, в октябре посольство Иевлева и Толочанова возвращалось домой той же дорогой. При этом следует отметить, что Балкария была тем пограничьем, где осуществлялась передача послов, что называется, «с рук на руки». И там же, в Балкарии, русские послы намеревались встретить и проводить до Москвы внука Теймураза, которого тот обещал отправить ко двору московского царя. Дорога через Главный Кавказский хребет тогда представляла значительные трудности для посольств и неизбежно приводила их в тесное соприкосновение с окрестным горским населением. Самым надежным средством обеспечения безопасного проезда в зоне Большого Кавказа был наем проводников. Главной обязанностью проводников, помимо хорошего знания местности, являлось обеспечение неприкосновенности провожаемого лица или посольства, охрана находившихся при путниках материальных ценностей и подыскание ночлега. Институт «проводничества», воспринимавшийся как услуга, компенсируемая жалованием или подарками, играл важную роль в традиционном обществе и способствовал развитию политических контактов.

Подробности о балкарцах, участвовавших в русском посольстве В. Жидовинова и Ф. Порошина 1655 г., становятся известны благодаря публикации В.Б. Виноградова, содержащей ссылки на Российский государственный архив древних актов [16, 176]. Сведения посольской документации хорошо дополняются и проверяются грузинскими источниками, опубликованными в «Переписке на иностранных языках грузинских царей с российскими государями от 1639 по 1770 гг.». На основе этих свидетельств могут быть реконструированы некоторые эпизоды российско-грузино-балкарских отношений XVII в.

25 марта 1655 г. посольство, возглавляемое В. Жидовиным и Ф. Порошиным, выехало из Терского городка и в начале апреля находилось в Кабарде у мурзы Камбулата Пшемаховича, откуда 14 апреля двинулись в «Болхары». До «Болхарской щели» (Черекского ущелья) их провожала мать Камбулата – Бабасупх. Там послов приняли «болхарского владельца Еидабуловы дети Енбулат да Тазы да болхарский владелец Ян...» (имя последнего в источнике неразборчиво). Они стали проводниками на дальнейшем пути к Главному Кавказскому хребту. Через горы посольство провожал Енбулат (Женбулат), «сын болхарского владельца Айбабула». Посольская документация, согласуясь с имеющимися грузинскими источниками, сообщает, что перед тем, как отправиться в обратный путь, молодой балкарский таубий был крещен в Кутаиси Имеретинским царем Александром. Русские послы Жидовинов и Порошин были приглашены на

торжество и смотрели, как царь Александр крестил «Женбулата, сына балкарского владельца Айдарбулова. Послы худо видели сей церковный обряд по причине отдаления от того места, где совершалось крещение, и многочисленной толпы любопытных» [17, 61]. Факт крещения члена влиятельной балкарской фамилии имеретинским царем можно расценивать как серьезный политический шаг, рассчитанный на перспективу балкаро-грузинского союза. С этой точки зрения, можно говорить о собственном содержании балкаро-грузинских контактов, не всегда зависящем от «русского» и «кабардинского» факторов.

Грузино-балкаро-российские связи прослеживаются и в последующий период: балкарцы не раз оказывали важные услуги грузинским царям, ориентирующимся на Россию. Так, осенью 1657 года из Имеретии в Москву собирался выехать гостивший там кахетинский царь Теймураз, чтобы просить у России военной помощи в борьбе против шаха Ирана. Его путь проходил через Балкарию, где он был принят очень гостеприимно. Опасаясь своих недругов, Теймураз писал царю Алексею Михайловичу: «Пусть придет войско в *Малкари* отвести меня в Терки, чтобы я не погиб от агарян, и не было бы греха перед богом и перед людьми» [18]. По письменным источникам известно, что в Балкарии к царскому кортежу Теймураза присоединился представитель балкарской владельческой фамилии Артутай Айдабулов, аталык кабардинского князя Камбулата Пшемаховича Черкасского. Согласно русским документам, в марте 1658 года царь Теймураз с большой свитой, девять тушин (горцы Восточной Грузии) и трое шибутян (чеченцы Аргунского ущелья), а также «*балхарский владелец*» Артутай Айдабулов «со своим человеком» выехали из Астрахани и 20 июня того же года прибыли в российскую столицу. В посольских делах отразились обстоятельства пребывания в Москве этой миссии. В составе грузинского посольства был представлен ко двору царя Алексея Михайловича сын «балхарского владельца» Артутай Айдабулов. Это одно из самых ранних свидетельств письменных памятников о прямом политическом контакте представителей балкарской знати с русским правительством. Документ опубликован в сборнике «Русско-чеченские отношения», подготовленном Е.Н. Кушевой.

Пребывание Артутая в Москве очень скупо отражено в русских источниках, известно лишь, что на отпуске грузинского царя Теймураза он наряду с другими посланцами Кавказа был богато одарен. В документе говорится: «Пожаловал великий государь царь и великий князь Алексей Михайлович, всеа Великия и Малыя и Белья Росии самодержец, подданного своего грузинского царя Теймураза Давидовича, и митрополита, и архимарита, и игумнов, и чиновных ево людей, и *болхарского*, и Тушинские, и Шибутцкие земли владельцев, велел им дать своего государева жалованья на отпуске при себе, великом государе... Да при себе же, великом государе, дати своего государева жалованья *болхарскому владельцу*, да Тушинские земли владельцем дву человеком, шибутцкому одному человеку по сороку соболей по 40 рублей человеку, да от казны достальным тушинцом шти человеком и шибутцким дву человеком по сороку соболей по 20 рублей сорок человеку» [19, 194]. Анализ этого документа позволяет говорить по крайней мере о двух важных моментах. Во-первых, о достаточно высоком политическом статусе балкарского посланца, который был одарен наряду с кахетинским царем (еще в 1639 году присягнувшим на подданство русскому царю) и представителями тушин и шибутян, просивших о принятии жителей Тушинской земли и Шибутского джамаата в русское подданство. Во-вторых, документ определяет «*владельческий*» социальный статус Артутая в отличие, например, от чеченских посланцев, чьи имена в письме джамаата названы вообще без какого-либо определения [20], а в тексте приведенного выше документа им дано обозначение «*шибутцкий человек*». «Владельческий» социальный статус Артутая обозначает принадлежность его носителя к привилегированной общественной страте и вводит в круг лиц с тем же индексом ранга. В выявленных документах нет свидетельства о том, что Артутай был принят русским царем; во всяком случае, его имя не встречается ни в «Церемониале приема царем Алексеем Михайловичем тушин Наума Иванова и Петра Наумова и шибутянина Алхана от 21 сентября 1658 года», ни в «Памяти» из Посольского приказа о выдаче деньгами за дорожный корм посланцам кав-

казских народов, с которыми Артутай прибыл в Москву [19, 195–196]. Поэтому говорить о налаживании русско-балкарских дипломатических отношений и о принесении присяги русскому царю от имени балкарцев в середине XVII века можно лишь гипотетически [21, 275]. Тем не менее, отдельные свидетельства о политических контактах позволяют заключить, что отношения Российского государства с балкарской знатью строились на тех же принципах, что и с другими северокавказскими владельцами. Эти отношения обставлялись различными атрибутами феодального этикета – наградами, пожалованиями и знаками отличия.

С середины XVII века мирные контакты жителей балкарских обществ, как и других народов Северного Кавказа, с русскими осуществлялись через Терский город. Так, сохранилось случайное известие от 1643 года о пребывании «*балхарских кабаков узденя Каспулата*» в русском городе Терки [1, 242].

В конце XVII века в связи с осложнением внешнеполитической и внутривнутриполитической обстановки в России и Грузии интенсивность контактов России с северокавказскими народами, в том числе и с балкарцами, несколько ослабла. Тем не менее, в 80–90-х гг. XVII в. грузинские посольства неоднократно проезжали через Кабарду в Терский городок, Астрахань и Москву [22, 6]. Понятно, что без дружественного содействия балкарцев, занимавших перевальные пути, это вряд ли могло быть возможным. Источники несколько раз упоминают «Басян» или «Балкар, т.е. страну в истоках Малки», где имеретинскому царю Арчилу и его сыновьям в последнем десятилетии XVII века приходилось искать убежище, скрываясь от северокавказских владельцев, придерживавшихся персидской или крымско-турецкой ориентации. Находясь в затруднительных обстоятельствах, 15 апреля 1694 г. Арчил писал Терскому воеводе, «что он находится в *Балкаре* и чтоб его оттуда вывели» [23, 573].

Итак, среди делопроизводственных материалов XVII в., отложившихся в российских архивах, сведения о Балкарии и балкарцах встречаются в отдельных документах, как правило, случайно обнаруженных в результате археографической обработки крупных источниковых массивов по другим проблемам. Эти единичные источники практически все опубликованы в разных документальных сборниках и широко цитируются в научных исследованиях. Они зафиксировали политические, социальные, правовые отношения между балкарскими обществами или отдельными их представителями с соседними народами и Российским государством. Однако для полноценного воссоздания истории Балкарии эпохи традиционного общества, как правило, требуется дополнительный ретроспективный анализ источников более позднего происхождения.

Библиография

1. Кабардино-русские отношения в XVI–XVIII вв. Документы и материалы. – М., 1957. – Т. I.
2. Лавров Л.И. Карачай и Балкария до 30-х годов XIX века // Кавказский этнографический сборник. – Вып. IV. – М., 1969.
3. Мизиев И.М. Очерки истории и культуры Балкарии и Карачая XIII–XVIII вв. – Нальчик, 1991.
4. Батчаев В.М. Балкария в XV–начале XIX в. – М., 2006.
5. Муратова Е.Г. Социально-политическая история Балкарии XVII–начала XX в. – Нальчик, 2007.
6. Белокуров С.А. Посольство дьяка Федота Елчина и священника Павла Захарьева в Дадианскую землю. 1639–1640 // Чтения в Обществе истории и древностей российских. – Кн. 2. – М., 1887. – С. 257–376.
7. Полиевктов М.А. Посольство стольника Толочанова и дьяка Иевлева в Имеретию, 1650–1652. – Тифлис, 1926.
8. Материалы по истории русско-грузинских взаимоотношений. 1615–1640 / сост. М.А. Полиевктов. – Тбилиси, 1937.
9. Путешествия русских послов XVI–XVII вв. Статейные списки. – М.–Л., 1954.

10. Кушева Е.Н. Народы Северного Кавказа и их связи с Россией (вторая половина XVI–30-е гг. XVII вв.). – М., 1963.
11. Алексеева Е.П. Карачаевцы и балкарцы – древний народ Кавказа. – Черкесск, 1963.
12. Анчабадзе Ю.Д., Волкова Н.Г. Этническая история Северного Кавказа в XVI–XIX вв. Серия «Народы Кавказа». – Кн. I. – Вып. 27. – М., 1993.
13. Крикунова Е.О., Павлова И.М. К истории взаимоотношений между Кабардой и другими народами Кавказа в XVII веке // Ученые записки Кабардино-Балкарского государственного педагогического института. – Вып. XIII. – Нальчик, 1957.
14. Статейный список посольства в Имеретию 1650–1652 гг., составленный Алексеем Иевлевым. – Тбилиси, 1969.
15. Статейный список посла Толочанова в Имеретию 1650–1652 гг. – Тбилиси, 1970.
16. Виноградов В.Б. Балкарцы в русско-кавказских отношениях XVII века // Вопросы истории. – 1985. – № 6.
17. Переписка на иностранных языках грузинских царей с российскими государями от 1639 по 1770 гг. – СПб., 1861.
18. Азаматов К.Г., Рехвиашвили И. Истоки уходят в прошлое // Кабардино-Балкарская правда. – 1982. – 18 октября.
19. Русско-чеченские отношения. Вторая половина XVI–XVII в.: сборник документов. – М., 1997.
20. Кушева Е.Н., Усманов М.А. К вопросу об общественном строе вайнахов (письмо 1657 г. из Шибутского джамаата царю Алексею Михайловичу) // Советская этнография. – 1978. – № 6. – С. 99–110.
21. Азаматов К.Г. К вопросу о русско-балкарских отношениях в XVII в. // Великий Октябрь и передовая Россия в исторических судьбах народов Северного Кавказа. – Грозный, 1982.
22. Материалы по истории русско-грузинских отношений (80–90-е годы XVII века). – Тбилиси, 1974. – Т. 1.
23. О грузинском письме царя Арчила к шведскому королю Карлу XII от 2 февраля 1706 г. и о пребывании Арчила в России академика Броссе // Ученые записки императорской Академии наук по I и III отд. – СПб., 1854. – Т. 2.

**АДЫГИ В АНТИЧНУЮ ЭПОХУ И В ПЕРИОД РАННЕГО СРЕДНЕВЕКОВЬЯ
(некоторые проблемы этнокультурных связей)**

Р.Ж. Бетров

Статья посвящена изучению содержания и характера этнокультурных связей предков адыгов с античными греками и тюркоязычными кочевниками Предкавказских степей эпохи раннего средневековья. Проблема рассматривается на основе археологических, этнографических и письменных источников.

The paper deals with the study of the content and character of ethnocultural interconnections that ancestors of modern adyghe had with ancient Greeks and Turkic nomads of North Caucasus plains in the early medieval period. The problem is considered on the bases of archaeological, ethnographic and narrative sources.

Этническая история развёртывается сложными и противоречивыми способами. Народность не может являться чем-то застывшим на вечные времена. В ходе своего исторического развития она вступает в контакты с другими народами, происходят интеграционные и ассимиляционные, но разные по степени интенсивности процессы: разнообразные мирные торгово-экономические связи, языковые обмены, заимствования культурных достижений, межэтнические браки, нередко уступавшие место прямым вторжениям, военным столкновениям и конфликтам. Межэтнические контакты и взаимодействия в их многообразных и разноплановых проявлениях – это исторически устойчивый, постоянный и закономерный процесс; напротив, длительная и непроницаемая этническая обособленность представляет собой исключительные аномальные случаи и, как правило, не бывает особенно долгой [1].

Предки адыгов, с древних времён проживая в полиэтническом регионе Западного Кавказа, сталкивались со многими народами разной языковой и культурной принадлежности. Поэтому при прослеживании эволюции этнической культуры адыгов иноэтнические воздействия следует учитывать – об адыгах можно говорить как об этносе с довольно прочной кавказской субстратной основой и существенным адстратом (включением) из иранских и тюркских элементов, а также с греческим и другими вкраплениями в культуру. На это указывают данные антропологии, материальной и духовной культуры и языка адыгов.

В данной небольшой работе у автора нет намерения (да и возможности) обстоятельно и детально рассмотреть все проблемы этнических контактов адыгов в указанные периоды – здесь приводится только авторский взгляд на характер этнокультурных связей протоадыгов в период становления их как единого этноса, начиная с раннежелезного века и до оседания в Предкавказских степях докипчакских прототюркских племён в начале раннего средневековья (примерно VIII–VII вв. до н.э. – VI–VII вв. н.э.).

Рассмотрим сперва некоторые вопросы, касающиеся контактов меотов (протоадыгов) с древними греками.

Античные государства Понтийской зоны по своей социальной природе были рабовладельческими. Они принесли античную цивилизацию с её особенностями и всеми достижениями на берега Чёрного и Азовского морей. Постоянно модифицируясь, она просуществовала здесь почти до конца IV в. н.э. Греческие полисы в этой зоне стали своеобразной северной периферией античного мира. В конце эпохи всё Северное и Восточное Причерноморье в той или иной степени стали зависеть и от Римской империи.

Важнейшими особенностями античных государств Причерноморья были тесные связи с метрополией с одной стороны, а с другой – взаимодействие с окружающим их племенным миром, в частности, с многочисленными синдо-меотскими племенами Северо-Западного и Запад-

ного Кавказа – предками современных абхазо-адыгов. Это взаимодействие было многообразным. Греческие города-государства как носители более высокого уровня общественного развития, вне всякого сомнения, оказывали значительное воздействие на местное население, ускоряя процесс распада первобытно-общинных отношений и способствуя становлению у автохтонов классового общества и государства. Большую роль играли торгово-экономические взаимоотношения, затрагивавшие не только ближайших соседей греков, но и более отдалённые племенные группы. Но затем постепенно доминирующим стало влияние «варварского» мира на греческий, и к концу античной эпохи ряд эллинских центров приобрёл даже греко-варварский характер.

Таким образом, история античных государств Причерноморья – это история одной из периферийных зон античной рабовладельческой формации, в судьбах которой переплетались тенденции развития, свойственные формации в целом, и, что очень важно для нас, с тенденциями, порождёнными особыми условиями её существования бок о бок с миром «варварских» племён.

Но каков был характер этих связей и какие конкретно взаимоотношения имели место между греческими колонистами и автохтонным населением Северо-Западного Кавказа – синдами и меотами, считающимися древними протоадыгами?

Прежде всего следует заметить, что в I тыс. до н.э. происходит резкое расширение ареала классовых обществ как в пределах Древневосточного обширного региона, так и Средиземноморья. Цивилизации и первобытная периферия всё чаще приходят в соприкосновение. Это приводит к появлению различных типов периферии и различных видов контактов. В зависимости от географического расположения первобытной периферии по отношению к центрам цивилизации имели место периферия ближняя и дальняя. Первая была представлена племенными группами, которые непосредственно граничили и контактировали с цивилизациями; вторая – теми группами, что общались с цивилизациями посредством ближней периферии. Первая развивалась быстрее, вторая – медленнее. Говоря в общем, контакты между первобытной периферией и цивилизациями различались прежде всего по способу их реализации. Были контакты непосредственные и опосредованные, односторонние и двусторонние, мирные и военные. Односторонние контакты предполагали воздействия, двусторонние или взаимные – взаимодействия. Односторонние контакты бывали при значительном разрыве в уровне развития контактирующих обществ. Двусторонние – более характерны для относительно близких по уровню развития обществ, например, раннеклассовых цивилизаций и их «варварского» окружения, хотя следует признать, что воздействие классовых центров на первобытный мир было несравненно более значительным, нежели наоборот.

При определении направления и мест колонизации для греков немаловажным был природно-географический фактор. Недаром они в конечном итоге прозвали Чёрное море «Понтом Эвксинским», что означает «море гостеприимное», веря в магию слов, – видимо, благодатная природа Колхиды, Западного Кавказа и Южного Крыма напоминала колонистам их прародину Элладу (в целом, Эгеиду). Но не менее значимым был и вопрос: с какого рода населением им придется вступить в контакты и важнее всего – осуществлять обменно-торговые операции, ибо посредническая торговля стала основой экономики городов-колоний при скромной роли сельского хозяйства.

В науке долгое время господствовало мнение о торговом характере греческой территориальной экспансии, то есть считалось, что торговые интересы греков играли главную, если не исключительную, роль в основании колоний, которые стали прежде всего торговыми центрами, обеспечивавшими коммерческие связи между Средиземноморьем и варварами припонтских степей [2]. Появилась концепция «двустороннего» характера колонизации, согласно которой обязательными предпосылками колонизации были не только социально-экономические процессы в греческой метрополии, но и достижение причерноморскими племенами определённого уровня хозяйственного и общественного развития, позволившего им вступить в торговые контакты с греками-переселенцами [3].

Но здесь следует упомянуть, что среди видов мирных контактов, кроме обменно-торговых, имели место миграционные, то есть просачивание небольших групп к соседям, политические взаимоотношения и культурные взаимодействия. Они могли быть элитарными или принимать массовый характер; среди военных контактов – военно-грабительские и военно-захватнические, перенимание тактик и стратегий, вооружения, наёмничество.

Возникновение Боспорского царства имело для синдо-меотов очень важные исторические последствия. В VII в. до н.э. на западном берегу Киммерийского Боспора – Керченского пролива теосцами и митиленцами была основана греческая эмпория, которая в середине VI в. до н.э. превращается в г. Пантикапей. Название это не греческое, а иранское, расшифровывается как «рыбный путь» [4]. К югу от Пантикапея на Керченском полуострове с середины VI в. до н.э. появились города Тиритака, Нимфей, Киммерик и др. Дальше на запад милетцы основали Феодосию. На противоположном берегу Киммерийского Боспора в дельте Кубани и на Тимани (в западной части территории синдов) возникли города: Фанагория, Германасса (на месте современной Тамани), Ахиллей, Патрей, Тирамба и др., а на восточном побережье Таманского залива – Кепы. Будучи самостоятельными полисами, эти города в 480 г. до н.э. объединились в одно государство – Боспор. По сообщению Диодора, в течение 42 лет страна управлялась Археанактидами. В 438 г. до н.э. власть на Боспоре переходит в руки новой династии Спартокидов. Положение Боспора было выгодным в стратегическом и экономическом отношении – это был перекрёсток морских и сухопутных дорог. Имея ряд удобных гаваней, греки сосредоточили в своих руках все товары, стекавшиеся с плодородных берегов Меотиды (Азовского моря) и низовьев Танаиса (р. Дон – в начале III в. до н.э. боспоряне заложили в устье этой реки г. Танаис), с берегов Гипаниса (р. Кубань).

Таким образом, меоты оказались в непосредственной близости от Боспорских поселений. Не касаясь сложной проблемы локализации каждого племени, рассмотрим границы расселения меотских племён в целом: с запада – Чёрное море, Керченский пролив и Азовское море, с юга – северо-западная часть Кавказского хребта. На севере меоты граничили с иранскими племенами – иксоматами, жившими по северному побережью Азовского моря. В VII в. до н.э.–III в.н.э. меоты в основном жили по среднему и нижнему течению Кубани, в I в. до н.э.–III в.н.э. часть меотов освоила также дельту Дона. Синды занимали Таманский полуостров и прилегающие части Черноморского побережья до Анапы. Северной границей Синдики являлась река Кубань. Южнее синдов по Черноморскому побережью письменные источники указывают керкетов, торетов, зихов и гениохов.

Меотская культура складывается в VIII–VII вв. до н.э. Основой хозяйства было земледелие и скотоводство. Они выращивали пшеницу, ячмень и просо. Большое значение имело скотоводство – разводили крупный и мелкий рогатый скот и лошадей. Материалы о земледелии и скотоводстве показывают высокий уровень развития сельского хозяйства, который не уступал уровню развития сельского хозяйства в античных полисах Причерноморья. Земледелие носило плужный характер. Большое место в экономике занимали ремесло и торговля. Развито было керамическое производство, ткачество, ювелирное, кожевенное, косторезное и другие ремёсла. Племена Приазовья занимались и рыболовством. Соседство греческих колоний способствовало развитию виноградарства и виноделия.

В целом меотское общество переживало сложные социально-экономические и этнические процессы. У синдов уже в V в. до н.э. наблюдается значительная социальная дифференциация. К концу V в. до н.э. Синдика даже превращается в небольшое царство. В источниках упоминается имя царя Гекатея и чеканка синдских монет с изображением конской головы. Город Горгиппия (бывшая Синдская Гавань) на месте современной Анапы уже во второй половине V в. до н.э. превращается в смешанный греко-синдский посёлок. Вопреки выводам некоторых исследователей 1950-х годов [5], новейшие археологические изыскания раскрывают достаточно дифференцированную структуру меотского общества, основанную на социальном и имущественном неравенстве даже рядовых общинников. В IV–III вв. до н.э. идёт активный про-

цесс классообразования, происходит также создание союза или союзов племён, активно противостоящих Боспору. Всё это свидетельствует о том, что до появления греков меоты прошли большой путь, ведущий к разложению родового строя, и они были готовы к государственной организации. Такой исторический прогресс, разумеется, был следствием всего предшествующего периода жизни меотов в эпоху бронзы.

Так или иначе, местное население оказалось «подготовленным» к тесным торгово-экономическим контактам с обитателями греческих полисов, часто – и к восприятию передовой античной культуры, поскольку экономические и политические связи не могут не сопровождаться культурными заимствованиями. Прежде всего грекам было выгодно, если общество находилось на такой стадии развития, когда интенсивная торговля становится просто необходимостью, в частности, выделившаяся племенная аристократия постоянно нуждается в претенциозных предметах роскоши. И в самом деле, захоронения синдо-меотской аристократии этого времени изобилуют роскошным инвентарём.

Постепенно налаживается торговля с городами Боспора. Но сначала в торговле с греками меоты выступают как менее развитый партнёр, вывозя преимущественно сырьё – хлеб, продукты животноводства. Но есть сведения, что статьёй вывоза были и рабы, даже свои соплеменники [6]. Как своеобразный вывоз можно рассматривать использование воинов-меотов в качестве наёмников в боспорском войске [7].

Греки ввозили: тонкую лаковую посуду, стекло, ювелирные изделия, в массовом масштабе – украшения, зеркала, вероятно, ткани, произведения торевтики, дорогое оружие, вино, оливковое масло, благовония.

По функциональной роли контакты, вообще, чаще всего делят на имевшие место в хозяйственной, социальной, потестарно-политической и духовно-идеологических сферах. Так же квалифицируются и те культурные заимствования, которые делались обществом-реципиентом («принимающим») у общества-донора («дающего», «жертвующего»). Заимствования легче делались тогда, когда культурный разрыв между донором и реципиентом не был слишком большим. Говоря по иному, заимствования получались легче тогда, когда общества-реципиенты были к ним подготовлены своим спонтанным (самопроизвольным) развитием. В этих случаях приобретения были не только случайными, выборочными, но перенималась целостная система культуры или её крупный блок. Использовались, например, технические и технологические достижения: керамическое производство, металлургия и металлообработка, виды транспорта, одежда, украшения и т.п.

Боспорские рабовладельческие слои постепенно втягивают в круг своих интересов господствующий слой синдов. Всё это заметно в археологических материалах. Примером может служить так называемый Артюховский курган II в. до н.э. на Таманском полуострове, раскопанный ещё в 1878 г., принадлежавший к весьма состоятельному слою местного синдского населения и давший богатейший набор вещей, среди которых золотой венок, статер Перисада, роскошные золотые серьги, золотые браслеты, усыпанная гранатами золотая диадема и мн. др. Некоторые предметы из кургана украшены рельефными изображениями, все их сюжеты и образы заимствованы из греческой мифологии. Так, на золотом перстне вырезана фигура Геракла. На золотой диадеме миниатюрная группа – орёл, уносящий на Олимп Ганимеда, и т.д.

За некоторыми исключениями, все найденные предметы носят греческий характер. Имеются сведения и о том, что лица, погребённые в Артюховском семейном некрополе, знали греческий язык и письменность, носили греческие имена и не были чужды греческой литературе и искусству того времени [8]. Женщины носили греческую одежду. Украшения из золота и цветных камней, серебряные сервизы, орудия труда – серебряные и костяные веретена характерны для почтенных матрон и примерных хозяек. Особенно показательны веретена, найденные во всех синдских женских погребениях; у греков эти предметы были своего рода символом примерной супруги, хозяйки дома. В то время как мужчины характеризуются как идеальные пале-

стриты, женщинам приданы черты идеальных супругов и хозяек – то и другое согласно греческим погребальным обычаям [9].

Подобные же материалы дали и другие памятники: курган Куль-Оба, курганы в окрестностях Горгииппии (Анапы), которые содержали погребения в каменных склепах.

Высокий уровень материальной и духовной культуры не только синдов, но и меотов вновь подтверждены находками в недавно изученных курганах у с. Уляп в Адыгее – это, в частности, серебряный ритон с позолотой и с протомой Пегаса и изображением борьбы богов и гигантов из кургана № 4. Для достойной оценки этих великолепных художественных импортных изделий нужно было обладать развитым художественным вкусом. Это отразилось и в собственном производстве меотов – речь идёт об изделиях местных мастеров из бронзы, серебра и золота.

Но касались ли эти контакты и культурные влияния только лишь «верхушечных» слоёв населения, или они носили более массовый характер? Были они элитарными или затронули хору (сельскую территорию), где проживало рядовое синдское население? Кое-какие материалы (например, некрополи в сельской местности в районе Фанагории и Горгииппии) позволяют предположить, что и простые общинники были втянуты в торговые отношения с греками, но до какой степени – сейчас определить трудно. Но высокая степень приобщения социальной верхушки Тамани к середине II в. до н.э. к эллинистической культуре, греческим обычаям и языку не вызывает сомнений. Об этом же свидетельствует имя синдского царя Гекатея, имя правителя меотского племени фатеев Арифарн, название самой столицы синдов Горгииппии, которая археологически изучена неплохо – среди прочего здесь обнаружены храмы Афины и Посейдона, святилище Деметры, фриз с изображением 12 подвигов Геракла. Местная аристократия окружала себя роскошными изделиями греческих мастеров, вела такой образ жизни и, видимо, отличалась уже такой культурной утончённостью, которая была всё же меньше знакома широким массам, что влекло за собой ещё большее социальное расслоение.

Элитарный характер этих связей нашел отражение в материалах археологии. Здесь ещё надо упомянуть, что критерием социальной дифференциации, выделения племенной аристократии являются качественные, а не количественные различия в инвентаре. В погребениях знати в изобилии представлены золотые изделия и произведения торевтики греческого происхождения, тогда как в рядовых захоронениях их мало или вовсе нет. В целом воздействие в культурной сфере способствовало культурному развитию автохтонного массива, хотя были и исключения. Например, распространение под влиянием греческих колонистов виноделия и пьянства среди жителей Боспора и сопредельных территорий вряд ли можно назвать культурным прогрессом, в своё время скифы очень быстро (уже с VI в. до н.э.) приобрели вкус к греческому вину, употребляя его в неразбавленном виде (тогда как сами греки пили вино, наполовину разбавленное водой), и вряд ли это положительно повлияло впоследствии на историческую судьбу воинственных номадов.

Впрочем поголовной эллинизации меотов и даже синдов не произошло, ибо это означало бы полную деэтнизацию автохтонного населения, и об этом мы скажем ниже. А сейчас напомним, что освоение некоторых греческих обычаев и взглядов и насыщение быта изделиями греческого художественного ремесла не может скрыть и других важных элементов, из которых складывается культурный облик аборигенного населения, – местных элементов, сосуществующих с греческими заимствованиями и частично с ними сливающихся. Среди чужеземных заимствований чётко прослеживаются местные традиции как в ритуале, так и в инвентаре погребальных и бытовых памятников.

Хозяйственные контакты, конечно же, были самыми интенсивными и лёгкими. Через них создавались даже какие-то новые хозяйственно-культурные типы. В отличие от этого контакты в социальной сфере и связанные с ними изменения были затруднены невозможностью прямого социального копирования. В данном случае следует учитывать и известное различие между внешне сходными явлениями разных эпох. Эллинское и древнеадыгское общества типологиче-

ски и стадильно всё-таки отличались – первое уже давно переживало рабовладельческий строй в классическом его варианте, а второе проходило только стадию интенсивного разложения родового строя. В связи с этим отметим, например, что хотя греки постепенно вовлекли в работорговлю некоторые племена Северо-Западного Кавказа, у них античное производственное рабовладение так и не получило развития и рабство у меотов всегда оставалось патриархальным, домашним. Классическое рабство это население так и не пережило (или не успело), перейдя вскоре к развитию раннефеодальных отношений в VI–VII вв.

Сходный характер носили контакты и заимствования в потестарно-политической сфере, где также было затруднено прямое копирование нововведений, хотя бы из-за разницы в уровне социально-экономического развития – греки имели сложную классово-сословную структуру общества с полисной организацией, а у меотов только намечался переход к раннеклассовому обществу.

Тем не менее, тесный экономический контакт боспорян и синдо-меотов сопровождался их политическим сближением, и эти связи сыграли значительную роль в судьбе автохтонных племён, открывая новые перспективы в дальнейшем их развитии.

Для Боспора было важно использовать богатства Синдики и других территорий Прикубанья – многое, в чём нуждались колонисты, они могли получить здесь: продукты сельского хозяйства – хлеб, мясо, шерсть, кони, рабов и т.д. Это открывало широкие экономические перспективы. Поэтому проблема взаимоотношений с меотами (и прежде всего с синдами) стала одним из важнейших вопросов внешней политики Боспора, правители которого стремились присоединить к своему царству прежде всего Синдику.

Интересен в этом плане рассказ греческого автора Полиена о синдской царице Тиргатао. Царь Боспора Сатир восстановил на престоле низложенного синдского царя Гекатея, Сатир дал Гекатею в жёны свою дочь – несмотря на то, что тот был женат на меотянке Тиргатао. «Гекатей, – пишет Полиен в «Стратегии», – любя меотянку, не решился погубить её, а заточил в сильной крепости и приказал жить под стражей, но Тиргатао успела бежать, обманув стражу» и «идя по пустынным и скалистым дорогам, пришла, наконец, к так называемым иксоматам, где были владения её родственников» [10]. Тиргатао смогла поднять меотов на борьбу с Сатиром I и его ставленником Гекатеем. «Приводя с собой многие из воинственных племён, живших вокруг Меотиды, – продолжает Полиен, – она сильно опустошала набегами принадлежащую Гекатею Синдику, а также причиняла вред и царству Сатира до тех пор, пока Сатир не умер от отчаяния» [10].

Сыну Сатира Горгиппу с трудом удалось заключить мир с Тиргатао и прекратить эту тяжёлую войну. Война меотов с Синдикой хорошо засвидетельствована археологическими данными – следы пожаров и разрушений в городах и поселениях в конце V в. до н.э. [12].

Здесь важно отметить, что косвенно, в виде тех изменений в общественном строе, к которым приводило воздействие обществ-доноров, контакты часто были действительны и тогда, когда они были сопряжены с миграциями или войнами, например, для развития военно-племенной деятельности или военной иерархии при длительной военной конфронтации цивилизации и менее развитой варварской периферии [13].

Рассмотрим это на примере меотов. По Страбону, «к числу меотов принадлежат сами синды, затем дандарии, тореаты, агры и аррехи, а также тарпеты, обидиакены, ситтакены, досхи и многие другие» [14]. Упоминаются также псессы, фатеи. Это были близкородственные племена, и в их этнической близости сомнений нет. Хотя нам кажется, что меоты изначально делились на две территориальные группы: прибрежная и степная. Береговую полосу Чёрного моря занимали синды, керкеты (тореты), ахеи и зихи. В бассейне Кубани и в восточной части Приазовья проживали псессы, фатеи, тарпиты, досхи, дандарии и др.

Можно думать, что в I тыс. до н.э. шёл процесс складывания единой народности на основе развития меотской культуры эпохи раннего железа, ускоренный впоследствии благодаря воздействию более развитого греко-римского мира. Судя по письменным источникам, меоты

имели общее собирательное имя, что важно, так как первое упоминание этноса в письменном источнике уже является свидетельством того, что на данный момент этнос уже представляет собой объективную реальность. Кроме того с момента возникновения более или менее всеобщего в рамках определённой группы населения самосознания и самоназвания этногенез, то есть становление данной популяции как этноса, может в целом считаться завершённым и все остальные процессы составляют дальнейшую этническую историю данного этноса [15] или же, говоря по-иному, «самосознание и неразрывно связанное с ним самоназвание суть решающие демаркаторы этноса», или «самосознание и выражающее его самоназвание являются основным этническим маркером» [16].

Это было вызвано кардинальными изменениями в экономике и социальной структуре и теми общественно-политическими процессами, которые происходили в меотском обществе в рассматриваемое время. Экономические связи на определённой территории требуют не только культурной интеграции (в первую очередь языка), они способствуют объединению племён одной культурно-лингвистической общности в рамках единой народности. Содействует объединительным этническим процессам и обычно следующее за развитием экономического обмена укрепление политической общности [17].

Это внутренние факторы, но есть и внешние. По-видимому, политическая экспансия Боспора сперва внушала опасения меотам, что также было одной из причин их сплочения, превращения в единую этнополитическую силу. Насколько можно судить по короткому рассказу Полиена, Тиргатао смогла поднять на борьбу с Боспором все племена, и меоты выступили как сплочённая военно-политическая сила. Пусть даже в экстремальной ситуации важно то, что меоты, признав власть одной правительницы, поднялись как один этнос на войну с сильным противником. Разумеется, в VI–IV вв. до н.э. сами меоты были готовы к единению и государственной организации. Но вопрос в том, что это положение ускорялось и поддерживалось мощью Боспора.

По-видимому, экспансия Боспора воспринималась отдельными группами меотов по-разному. Тиргатао вела войну не против всех синдов. Она боролась против части синдской правящей верхушки, которая в своей внешней политике ориентировалась на Боспор, и эту группу возглавлял её муж Гекатей – ставленник Сатира I. Из рассказа Полиена видно, что среди синдской знати не было согласия. Можно думать, что в верхах синдского общества шла борьба между двумя политическими группировками – одна была за тесные связи с Боспором (её возглавлял Гекатей), другая проводила антибоспорскую политику. Эта группировка, враждебная Боспору, и лишила Гекатея престола; вполне возможно, что к этой враждебной Боспору партии принадлежала Тиргатао, не исключено также, что она возглавляла эту партию. Иначе трудно объяснить стремление Сатира разлучить Гекатея с Тиргатао и даже погубить её. В борьбе с Боспором Тиргатао опиралась на поддержку меотов. Последние, очевидно, были враждебно настроены к государству греков, и им не нравилось постепенное сближение Синдики с экспансивным Боспорским царством.

Однако активная внешняя политика Боспора привела в конечном итоге к присоединению Синдики в середине IV в. до н.э. Это произошло при царе Левконе I (389–349 гг. до н.э.). При этом правителе Боспор сильно увеличился. Были присоединены тореты, дандарии, псессы, обитавшие на Тамани и в низовьях Кубани. Следующий царь Перисад I в 337 г. до н.э. именовался «архонт Боспора, Феодосии, царь синдов и всех меотов, фатеев, досхов». Не все меотские племена были подчинены Боспору, но и вошедшие в его состав часто отпадали. Страбон свидетельствует: «Из всех азиатских меотов одни подчинялись владельцам торгового места на Тамане, другие – боспорцам, но иногда то один, то другой народ отпадал от них» [18]. Боспорские правители только номинально считались царями меотских племён, последние сохраняли своих вождей, военачальников и известную самостоятельность. Но тем не менее Боспор продолжает стремиться прочно обосноваться на территории меотов – в конце IV в. до н.э. на средней Кубани возникает торговая фактория (эмпорий) греков, где поселяются не только боспор-

ские торговцы, но и ремесленники, отсюда товары идут дальше вверх по реке Кубани и вглубь степей.

Тесные экономические и политические связи Боспора с меотами приводили и к культурным взаимовлияниям сношений.

В науке считается, что в силу относительной автономности надстройки и особенно её верхних слоёв намного больше возможностей при контактах открывались в сфере духовно-идеологических связей и их последствий. Это более заметно в мифологии и религии. Заимствования в духовно-идеологической сфере передавались социальной верхушке наиболее развитых очагов первобытной периферии, главным образом, путём элитарных контактов: вкусы, мода, роскошные образцы прикладного искусства, изредка – письменность, литература, мифологические сюжеты.

Если не иметь в виду контакты в сфере торгово-экономических отношений, взаимовлияния древнегреческой и древнеадыгской культур нашли наиболее яркое отражение в духовной культуре адыгских народов.

Греки интенсивно начали осваивать Северное и Восточное Причерноморье примерно с VII в. до н.э. Но греки пытались проникнуть в бассейн Чёрного моря и раньше. Как об этом свидетельствуют археологические материалы, уже во II тыс. до н.э. эллинские пираты, а затем и торговцы появлялись на берегах Понта Эвкисского. Однако в период, предшествовавший возникновению эмпориев и первых полисов, то есть во II тыс. и в первой трети I тыс. до н.э., контакты местных племён с эллинами носили случайный характер, и они не смогли наложить сколько-нибудь заметную печать ни на тех, ни на других [19].

Для греков в то время Кавказ представлялся «краем земли», а кавказские горы – крайне известными горами на востоке, на что указывали поздние античные историки и географы. Страбон, например, писал: «...для людей того времени это были крайне известные горы на востоке, и к ним эллины приурочили миф о скованном Прометее».

Проникновение греков на территорию Западного Кавказа в то отдалённое время нашло отражение в их мифологии. Вспомним «Аргонавтов» (букв.: «плывущие на Арго») в греческой мифологии, участников плавания на корабле «Арго» за золотым руном в страну Эю (Колхиду). Подобные мифы на пустом месте не возникают. Возможно они содержат какую-то историческую правду, хотя Страбон несколько скептически относится к этим сообщениям. «Рассказывают ещё, – писал он, – что у них потоки сносят золото и что варвары собирают его при помощи просверленных корыт и косматых шкур. Отсюда и сложилась, говорят, и басня о золотом руно» [20]. Но, может быть, это не басня. Во всяком случае известно, что вплоть до недавнего времени жители Западного Кавказа применяли указанный Страбоном способ добычи золота, а именно – на дне золотоносной реки они закрепляли бараньи шкуры. Золото, как известно, тяжёлый металл, и оно, постепенно оседая, превращал шкуры в «золотое руно». Древнеримский историк Аппиан (138–161 гг. до н.э.) указывал, что «источники, вытекающие с Кавказских гор, несут незаметный золотой песок; окрестные жители, положив в воду длинношёрстные шкуры овец, собирают пристающий к ним золотой песок. Такого, вероятно, было и золотое руно Ээта». Впоследствии Кавказ оказывал значительное влияние на развитие не только греческой экономики, но и культуры в целом, в частности, мифологии.

Взаимовлияние древнегреческой и древнеадыгской культур носило интенсивный характер. Надо полагать, не случайны те сходства, которые обнаруживаются в адыгских и греческих преданиях, мифах, между кавказскими и эллинскими легендами о титанах, прикованных к горам или заключённых в пещерах. Адыгский исследователь А.М. Гадагатыл пришёл к выводу, что греческие писатели задолго до нашей эры создали свои произведения по материалам сказаний народов Кавказа и первыми открыли их миру [21]. В силу этого легенды Кавказа иногда были приняты письменной традицией как легенды греческой мифологии. Такое тоже возможно. В любом случае сходства разительные.

По мнению А.М. Гадагатля, в одном из адыгских преданий (где повествуется о том, что бессмертный Тхьэ – «бог» приковал к скале некоего богатыря) наличествуют мотивы героя греческой мифологии Тантала [22]. Как считает автор, сравнительно-сопоставительный анализ позволяет установить, что по своей природе и идейной нагрузке древнеадыгская эпическая песнь о Насрэне и древнегреческий миф о прикованном к скале Кавказа Прометее – в основном тождественны. Ведь неслучайно древнегреческие мифы указывают на Кавказские горы (гора Стабилос), где был прикован Прометей. Гора Стабилос (или Стробул) – вероятнее всего, Эльбрус, где был прикован и Насрэн – герой нартского эпоса. Стоит также напомнить о том, что легенда о Прометее восходит к аналогичным преданиям абхазов (Абрскил).

И другие герои нартского эпоса (Сосруко и Батраз) восстают против бога, добывая огонь для людей, что роднит их с греческим Прометеем. А Насрэн открыто восстал против владычества Тха (главного бога), и за это был прикован к вершине Ошхамахо (гора Эльбрус). В дальнейшем его освободил нарт Батраз.

Один из вариантов рождения и смерти нарта Сосруко перекликается с образом Ахилла, одного из величайших героев Троянской войны. Здесь важен мотив неуязвимости. Богиня Фетида, стремясь сделать своего сына неуязвимым и, таким образом, дать ему бессмертие, по ночам закаляла его в огне, а днём натирала амброзией. Согласно другой версии, Фетида купала Ахилла в водах подземной реки Стикс, чтобы таким образом сделать его неуязвимым, и только пятка, за которую она его держала, осталась уязвимой.

Вспомним как Тлепш закалял маленького Сосруко. В легенде говорится: «Тлепш взял клещами за колени Сосруко и положил его в кузнечное корыто. Вода его остудила, и сам он стальным сделался. То место, что кузнец держал клещами, стало мясом, остальное всё сталью было, поэтому оружие его не брало» [23]. Ахилл был убит у Скейских ворот Трои. Стрела Париса, направленная рукой Аполлона, попала в пятку, единственно уязвимое место.

Мотив уязвимого места на неуязвимом теле («ахиллесовой пяты») присутствует и в смерти нарта Сосруко. Нарты просят его встать у подножия горы, с высоты которой они катят «Режущее колесо» (Жан Шэрхъ), и провоцируют Сосруко отбить колесо сначала лбом, потом грудью, потом руками и т.д., пока нарты не потребовали подставить под колесо правое колено – единственное уязвимое место.

Согласно адыгской легенде, дом красавицы Адиюх стоит на берегу реки. Если муж Адиюх возвращается из похода тёмной ночью, она протягивает из окна свои светлые руки, освещая ими, словно солнцем, мост, и её муж легко перегоняет коней. Но однажды муж запрещает Адиюх освещать мост руками, и тёмной ночью он падает с моста и гибнет. После этого Адиюх выходит замуж за Сосруко, наделённого солнечными атрибутами [24]. Эту легенду можно сравнить с греческим мифом о Гере и Леандре.

Адыгский исследователь Айтек Намиток отмечал идентичность некоторых греческих и черкесских обычаев и нравов. В частности, он указывал на ту роль, которую играли у адыгов и деревенских обрядах Древней Греции обычные качели. С его точки зрения, магически-культовая природа качания, которое встречается у черкесов, не вызывает сомнения: больные оспой люди всегда помещались в качели и качание сопровождалось пением и заклинаниями, обращёнными к божеству этой болезни [25].

В целом у адыгов сохранилось много воспоминаний о древних греках, которых они называли «алыдж», нашедших отражение в преданиях, именах, топонимических названиях. При этом некоторые из них параллельно известны в нартском эпосе. Например, в эпосе упоминаются топонимические названия: «Алыдж губгъуэ» – Эллинская степь, «Алыдж къуажэ» – эллинское село, то есть «алыдж» в адыгском тождествен этнониму «эллин» – грек. Сэтэней – княгиню (Сэтэней гуащэ) называют дочерью Алиджевых. Распространённое раньше среди адыгов имя «Парис» явно греческого происхождения. Имя «Алыджыкъуэ» означает букв. «сын эллина» – «грека». В греческой мифологии Борей – бог северного ветра, и он часто упоминается в легендах и эпических произведениях, например, в «Одиссее».

В адыгских мифах и легендах наличествует термин «Борей жьапщэ», что можно понять, как «ветер Борей», в перен. – «сильный ветер», «штормовой ветер». С названием этого греческого божества, по-видимому, связаны и имена «Борэ», «Борэжь», встречающиеся в сказаниях.

Синдо-меоты своей самобытной культурой влияли на быт и культуру городов Боспора. Постепенно, по-видимому, политическое и культурное воздействие аборигенного населения на греческое становится доминирующим. В греческих полисах проживало много представителей местных племён. Боспорское царство антиковеды иногда называют «полумеотским государством». Высказывалось предположение, что сама династия Спартокидов не была греческой. М.И. Артамонов считал Спартокидов синдской династией [26]. Е.И. Крупнов предполагал также меото-синдское происхождение этой династии [27].

Античная эпоха – время наибольшего благоприятствования в этнической истории адыгов. Дальнейшее сближение с греками и вхождение в греко-синдо-меотское государство исторически было выгодно автохтонам. Развитие экономики и социальные сдвиги создавали реальные предпосылки для окончательного сложения классовых отношений интеграции в рамках единого этноса. Но эти позитивные процессы не получили завершения. Волны массами переселявшихся с севера и востока кочевых племён сыграли свою разрушительную роль. Сначала это было связано с усилением экспансии сарматского кочевого мира, вплотную приблизившегося к Прикубанью уже в III в. до н.э. Наплыв многочисленных и воинственных номадов, усложнившаяся этническая и военная ситуация помешала окончательному сложению этноса. Большая масса меотов вынуждена была покинуть правобережье Кубани и переселиться в левобережные районы, в холмистые леса и горы. Покидая предгорно-плоскостную зону, автохтоны теряли наиболее оптимальные природно-географические условия, благоприятные для традиционных форм хозяйства, – в горах и холмистых лесах не лучшие условия для функционирования высокопроизводительной комплексной земледельческо-скотоводческой экономики.

Последовавшее за этим гуннское нашествие имело катастрофические последствия. В 375 г. гунны во главе с вождём Баламуром, перейдя Волгу, появились в степях Восточной Европы. Первый удар они нанесли по аланам – «танаитам», занимавшим степи между Волгой и Доном. Преследуя уцелевших алан, которые, спасаясь, устремились на Северный Кавказ, часть гуннов, пройдя через Прикубанские степи, разорили земли меотов, а затем двинулись к Чёрному морю и Керченскому проливу. Кочевники подвергли уничтожению города и жителей Боспора. Гунны прошли также по территории Синдики, население которой испытало на себе удар этой грандиозной разрушительной волны. Приходит конец причерноморским античным городам-государствам.

Гуннское нашествие – переломный момент и в истории меотов. Погибла Синдика. Многие меотские поселения оказались заброшенными. Последствия этого удара оказались настолько серьёзными, что адыгское общество с конца IV по VI вв. находилось в состоянии какой-то стагнации. И хотя это нельзя углублять до размеров настоящей катастрофы и пропасти, разделяющей два отрезка адыгской истории, правомерно всё же признать значительный регресс. На территории меотов редко встречаются комплексы IV–VI вв. Захоронений античного времени, насыщенных предметами торевтики, нет уже и в помине, и только с VII в. наблюдаются некоторое оживление хозяйственной жизни и соответствующие социальные сдвиги.

Средневековье – сложнейшее время. В обществе наибольшая подвижность присуща средствам производства, социально-экономическим процессам, наименьшая – некоторым формам культуры и идеологии. В плане хозяйственного и общественного развития адыгское общество на новом этапе было шагом вперёд по сравнению с античной эпохой, но в раннесредневековое время всё же произошла утрата ряда важнейших культурных достижений и ценностей, приобретённых в античный период. По этому поводу неплохо выразился дореволюционный автор В. Потто, который писал: «Адыгский народ стал мало-помалу забывать задатки цивилизации и вышел на путь исключительного воинственного быта. На границах его вновь появлялся какой-то Китайхань, приходили сюда калмыки, хазары, татары – и все отнимали из рук черкеса плуг и вкладывали меч и щит... во времена грозных нашествий, среди переселений, побегов в

горы, где каждый действовал на свой страх и риск, – общественные нравы черкесов пошатнулись. Вечно тревожный, не знавший, будет ли он завтра пользоваться плодами сегодняшнего труда, народ впал в беспечность, в презрение к мирным занятиям... и умственные силы черкесов, от природы далеко не бедные, были устремлены так исключительно на развитие военного дела, что не оставляет места никаким другим интересам жизни» [28].

С окончанием античной эпохи благоприятный период в истории адыгов завершается. Территория расселения протоадыгов резко сократилась, а бывшие земли между Доном и Кубанью теперь заняли ираноязычные и тюркоязычные кочевники. Отныне их история – это перманентная война, постоянное противостояние миру скотоводов евразийских степей.

Воинственные степняки не были носителями высокой культуры. Как удачно заметил известнейший английский историк А.Дж. Тойнби, железный меч может быть символом победы, но не символом культуры [29]. Но, по его же мнению, большая группа людей, в чём-либо ущемлённая собственными действиями, действиями других людей, либо волею случая утратив нечто жизненно важное, направляет свою энергию на выработку свойства, возмещающего потерю, в чём, как правило, достигают немалых успехов [30].

Опасность со стороны кочевников спровоцировала адыгов на воинственность. Отныне война становится регулярным их занятием. «Черкес весь был поэтическое создание войны и вместе с тем творец её», – писал тот же В. Потто [31]. Вся жизнь адыгов теперь пронизана военным ремеслом, традициями и обычаями никогда не расстававшихся с оружием людей. Соответственно, теперь в средневековом адыгском обществе совсем иные ценности.

После гуннского нашествия произошло массовое движение народов, которое явилось важным этапом в сложении многих современных народов. Гунны положили конец многовековому господству иранцев в степях Европы и открыли не менее длительный период движения из Азии на запад тюркоязычных кочевников. Полоса нашествий этим не оборвалась. За первой волной гуннов шли авары, следом болгары, затем хазары, потом венгры, впоследствии печенег и половцы (кыпчаки).

На Северном Кавказе в V–VI вв. происходят сложные этнические и политические процессы. Это совместное существование разнородных племён и союзов создавало основу их будущих консолидации и этнического взаимодействия [32]. В это время в предгорной полосе Западного Предкавказья находились области адыгов, в центре расселились осы (осетины). К востоку от них находились кочевья воинственного племени сабиров [33]. В горах за ними обитали дурдзуки – предки вайнахов. К северу от Кубани распространились оногуры и болгары. Они обосновались в Приазовских степях. Часть болгар проживала в непосредственном соседстве с предками адыгов (на Тамани и в Приазовье). Одновременно с Болгарией началось образование Хазарского каганата. Колыбелью хазар к VI в. были Прикаспийские степи и земли нынешнего Дагестана. Ослабление Великой Болгарии привело к тому, что каганат присоединил Приазовье к своим землям. В конце VII–VIII вв. адыги, как и другие народы, находятся в зависимости от хазар, хотя в середине X в. адыги полностью освободились от власти каганата.

Кроме письменных источников сейчас уже имеются археологические материалы, отражающие ту сложную обстановку, вызванную вторжением гуннов и связанным с этим постепенным проникновением тюркоязычных племён вглубь Северного Кавказа, вплоть до предгорной зоны [34].

В рассматриваемое время имеет место влияние докипчакских тюрок на культуру, язык и быт коренного адыгского населения. Интеграция была долгой. Но эти связи выражались в самых различных формах: мирная интеграция в процессе культурных контактов, инфильтрация небольших тюркских групп в адыгскую среду, часто и прямые вторжения, о чём повествует фольклор.

О проникновении тюркских элементов в адыгскую среду наглядно свидетельствуют археологические, этнологические, лингвистические и некоторые антропологические материалы, на которых останавливаться мы сейчас не будем. Скажем только, что воздействие ранних тюр-

рок заметно прежде всего по лингвистическим, топонимическим материалам. Среди различных заимствований в адыгских языках наиболее значительный пласт составляют тюркизмы и в лексике адыгов заметно влияние языка болгар и хазар [35]. Тюркизмы прослеживаются в этнонимах, ономастике, названиях животных и растений.

К концу I тыс. адыгское население Прикубанья вступает в контакты с очередной группой евразийских кочевников – печенегами, а в первой половине XI в. – кыпчаками. Их отдельные группы в XI–XII вв. пытались проникнуть в предгорья западной части Северного Кавказа [36]. Но несмотря на воздействие многочисленного, но исторически неустойчивого, аморфного степного мира кочевников, несмотря на сложные военно-политические и этнические ситуации, иногда с угрозой полного поглощения миром кочевников, признаки коренной адыгской культуры оказались живучими и устойчивыми, пережили века, дойдя до современности. Древнеадыгский этнос не распался и сохранил ядро.

В эпоху средневековья иные условия и адыгская культура и язык оставались в целом индифферентными по отношению к иным культурам и языкам. Как особый момент следует подчеркнуть невосприимчивость адыгов к чужим формам религии. Остались они в стороне от христианства, шедшей из Византии и католицизма из генуэзских колоний. Гораздо позже даже ислам так и не смог завоевать прочных позиций среди адыгов.

Чем это объяснить? Причин здесь несколько. И это не только социально-экономические факторы, своеобразие общественного строя, но и системы ценностей и психологии адыгов. Подробно сейчас рассматривать их нет возможности. Скажем только о христианстве. Для народа, жившего теперь в условиях перманентной войны, в ожесточённой борьбе с кочевым миром, постоянно отстаивавшего свою независимость и даже существование, христианское кредо мира, идеалы любви и прощения врагов не могли стать возвышенным идеалом. Раннехристианские проповеди смирения, бедности, отказа от войны и кровной мести, физического насилия представлялись противоестественными людям, для которых война вынужденно сделалась стержнем общественной и религиозной жизни, тех, кто следуя за своим вождём, не видел различий между военным походом (целью которого был часто захват добычи и пленных) и своими возвышенными чувствами, такими, как верность, чувство долга, личное достоинство, слава благородного, бесстрашного рыцаря, для которого заманчивее казалось приобрести земную славу, чем загробное существование. Всё это соответствовало принципам довольно сложного адыгского этикета, настолько укоренившимся, что нельзя было их выкорчевать, не подтолкнув хотя бы к частичной утрате культуры народа. Это было средневековое раннефеодальное и военно-аристократическое общество, где имели место свои особые ценности.

Сказанное в значительной степени способствовало сохранению адыгов как этноса. Однако у адыгов не всегда мог быть военный паритет со степняками, и свою роль здесь сыграли другие факторы, а именно – природно-географические.

Почему стало возможным длительное сосуществование пришлых ираноязычных и тюркоязычных кочевников – завоевателей с местными племенами, когда Северный Кавказ часто населял конгломерат племён самого разного происхождения?

В одной из работ Л.Н. Гумилёв заметил: «Все этногенезы запрограммированы одинаково, но этнические истории – предельно разнообразны. Если на этногенез воздействуют посторонние факторы, например, колебания климата или агрессия, его путь будет смещён и ритм нарушен, а иногда и оборван. Последнее бывает редко...» [37]. И далее: «Сосуществование этносов возможно, и даже благотворно, если каждый из них заполняет свою экологическую нишу... Обычно этнос держится за родной ландшафт» [38].

Северный Кавказ с оседлым, более мирным населением, привыкшим к упорядоченной жизни, к спокойной хозяйственной деятельности был антиподом Степного мира.

Этот регион с точки зрения физико-географических условий чрезвычайно сложный и разнообразный край. Здесь несколько ландшафтных зон. Особую уникальность придаёт Кавказу наличие колоссальной, труднодоступной и суровой горной системы, значительных холми-

стых пространств, обширных низменных равнин. Предкавказье простирается от Кумо-Манычской впадины на севере до подножия Большого Кавказа (главного водораздельного хребта) на юге. Западная часть Предкавказья – Кубано-Приазовская равнина; в средней части – обширная Ставропольская возвышенность; на востоке – Прикаспийская низменность. Климат здесь засушливый.

В древние исторические эпохи на Северном Кавказе население занимало главным образом предгорно-плоскостную зону, со II тыс. до н.э. – частично и горы. Они были ведущими в культурно-хозяйственном отношении. Здесь были подходящие условия для комплексного земледельческо-скотоводческого хозяйства. Это можно было сочетать с ремеслом, добычей металлов и их обработкой. Кроме минеральных ресурсов, горы представляли собой и прекрасные альпийские луга.

Отдельно следует указать на отгонно-пастбищное животноводство, практиковавшееся автохтонами, по-видимому, со II тыс. до н.э., так как в это время стада состоят исключительно из скота, способного к дальним переходам, в первую очередь из овец. Горы создавали широкие возможности для подвижного скотоводства. При таком типе хозяйства с весны до ранней осени откорм стада осуществляется на горных пастбищах, а в более холодное время скот находится в долинах и предгорьях.

Предкавказские степи оставались менее заселёнными. Сухие степи автохтонов менее привлекали, здесь интенсивное земледелие при низком уровне производительных сил не могло получить достаточного развития и стать основой хозяйства, а в предгорьях и в зоне гор можно было применять простые приёмы орошаемого земледелия. Открытые широкие пространства их просто отпугивали. Наконец, если поблизости находились труднодоступные долины горных рек, население, по-видимому, чувствовало себя спокойнее – сюда можно было уйти в период вражеских нашествий.

Но свержоинственные номады, просачиваясь в регион, оказывались в подходящих для них условиях. Высокогорная зона их мало интересовала. В горах и холмистых лесах предгорной зоны кочевое скотоводство бессмысленно. Зато Предкавказские степи они умели осваивать, сторонясь гор и холмистых лесов, где они долго проживать не могли. Поэтому северокавказские степи становились пристанищем ранних (скифо-сарматы, гунны) и поздних тюрко-монгольских кочевников, привыкших на прародине к ещё более трудным условиям в сухой зоне умеренного пояса Евразии.

Походы степняков – это прежде всего движение конного войска, обозы повозок, табуны коней и стада. Главная ударная сила их – конница. Весьма грозная на ровном пространстве конная «лава» номадов в теснинах гор становилась малоэффективной и даже беспомощной.

Итак, каждый этнос мог держаться за «родной ландшафт», занимая свою «экологическую нишу». Автохтонов удивлял образ жизни пришельцев. Они всегда с большой опаской взирали на кочевников степей – и не без основания, так как последние часто оказывались причиной больших бедствий, – но вынуждены были терпеть такое соседство. Кочевникам не нравился непривычный для них строй жизни оседлых народов, но своих вкусов они, кажется, никому не навязывали.

И хотя отношения коренного населения и кочевников были часто крайне враждебными и в мирное время не отличались особой сердечностью, всё было далеко от идиллии, всё же иногда возникало некоторое устойчивое равновесие, располагавшее даже к определённой мирной интеграции чуждых культур. Но когда это равновесие нарушалось (чаще всего в результате притока новой, более могущественной волны кочевников), приходилось обороняться. И надо сказать, многовековое противостояние степнякам, видимо, научило адыгов пользоваться их тактикой ведения боя (маневренность и быстрота, внезапная атака и быстрое, иногда ложное отступление). Интересно, что традиции древности имели продолжение в более позднее время. И.Ф. Бларамберг, например, свидетельствует, что черкесы, наподобие древних парфян, стре-

мятся заманить противника в засаду, проводя ложное отступление, а конница их превосходит любую кавалерию в мире [39].

В крайне опасных ситуациях автохтоны отступали в спасительные горы. Правда, за подобную тактику приходилось, видимо, расплачиваться невосполнимыми материальными потерями: постоянных поселений, имущества, урожая и др. Вынужденное проживание в горной зоне (иногда длительное) становилось жизненной необходимостью.

Адыги, покидая правобережье Кубани, обычно уходили к горам. Вайнахи уже в начале н.э. были оттеснены сарматами в горные районы современных Чечни и Ингушетии. Здесь они находились долго, развивая свою материальную и духовную культуру. Предки дагестанских народов жили в горах, хотя и они оказывались в условиях вынужденной интеграции с пришельцами, о чём свидетельствует современная этническая карта Дагестана. Без преувеличения можно сказать, что горы сохранили от полного истребления предков осетин, балкарцев и карачаевцев (особенно в период монгольской экспансии и похода Тимур-ланга), надолго ушедших в глухие ущелья.

Складывание народов – это часто процесс сложного взаимодействия с другими этническими группами, и здесь наиболее яркие примеры представляет Северный Кавказ, где в различные временные отрезки соотношения субстратных и суперстратных элементов были различными, внедрение в местную среду внешних импульсов выражалось в различных формах (культурные контакты, торговые и брачные связи, диффузии, инфильтрация отдельных больших и малых групп, прямые вторжения и т.д.), в результате чего население региона начало представлять собой пёструю мозаику в языковом, этническом, культурном и антропологическом отношениях.

Но, несмотря на всё это, Северный Кавказ всегда сохранял и сохраняет своё своеобразие как особая историко-этнографическая область благодаря живучести и устойчивости древнейшей коренной культуры, истоки которой следует искать в общекавказском автохтонном субстрате, в культурах эпохи бронзы и даже камня. Признаки этой древней культуры пережили тысячелетия и дошли до современности. Это относится и к культуре автохтонов, в силу исторических обстоятельств перешедших к иранским и тюркским языкам (осетины, карачаевцы, балкарцы, кумыки). Поэтому, касаясь проблемы северокавказского этно- и расогенеза в целом, автор хотел ещё раз предостеречь от преувеличения значения миграционного фактора, перенеся центр тяжести на вопросы внутреннего развития этносов.

Из кратко изложенного можно сделать следующие выводы:

1. По отношению к Боспорскому государству историческая территория проживания синдо-меотов была ближней периферией. Они непосредственно граничили с греческими полисами во главе с Пантикапеем. Этот географический фактор сыграл свою роль. Связи греков с местным населением были тесные и эти контакты были непосредственные, а не опосредованные, поскольку периферия в данном случае по отношению к цивилизации была внутренняя, расположенная в границах этого ареала, а не внешняя (находившаяся за пределами ареала цивилизации). Синдо-меоты поэтому являлись также посредниками в распространении греческой культуры в более восточные районы Северного Кавказа.

2. Было бы ошибкой сводить вопрос только к природно-географическому фактору. Всем предшествующим ходом своего исторического развития автохтоны оказались «подготовленными» к тесным торгово-экономическим контактам с населением греческих полисов, к восприятию передовой греческой культуры. Поэтому связи эти были двусторонними или взаимными взаимодействиями. Благоприятные условия заключались в том, что ко времени соприкосновения с греками хозяйственная и культурная жизнь племён Прикубанья достигли относительно высокого уровня.

3. По той же причине говорить только о культурном влиянии греков на автохтонное население ошибочно. Разумеется, греческие полисы как носители более высокого уровня социального развития оказали весьма ощутимое культурное воздействие на местные племена. Но для заимствования каким-либо обществом элементов более развитой культуры само общество

(восприимчив) должно быть носителем достаточно высокой культуры. Поэтому правильное говорить о взаимовлиянии двух культур прежде всего в духовно-идеологической сфере, нежели в экономической и потестарно-политической (здесь греческое влияние гораздо значительнее). Синдо-меоты своей самобытной культурой также влияли на быт и культуру городов Боспора.

4. Следует также сказать, что культурные заимствования автохтонами часто были не выборочными, а системными или субсистемными, то есть заимствовались целостные системы культуры, а не только единичные элементы.

5. Как ни относиться к рассматриваемым вопросам, не вызывает сомнений одно: античная эпоха – самое благоприятное время в этнической истории автохтонов. Исторические факторы, имевшие место в послеантичное время, катаклизмы последующих веков способствовали в дальнейшем появлению некоторых застойных форм экономики и общественного быта. Процесс полного перехода к классовому строю произошёл лишь в предмонгольский период (X–начало XIII в.). В это же время завершается становление единого адыгского этноса.

6. В начале средневековья происходит утрата ряда важнейших культурных достижений, приобретённых в процессе общения с эллинским миром.

Участившиеся столкновения с воинственными степняками вызвали глубокие потрясения и изменили весь уклад жизни автохтонного массива. Адыги всё больше приобщаются к военному ремеслу, вся их жизнь теперь пронизана традициями и обычаями не расстававшихся с оружием людей. Война сделалась стержнем общественной жизни, в соответствии с этим исполнен быт.

Отсутствие раскопок на поселениях не позволяет восстановить полную картину хозяйственной жизни в V–VII вв. В погребениях найдены серпы, топоры, пряслица и др. Значительно лучше представлено оружие и конское снаряжение (кинжалы, трёхлопастные стрелы, сабли, кольчуги, удила, стремяна, остатки сёдел и др.).

Материалы всё же свидетельствуют о развитии экономики (пашенное земледелие, скотоводство, ремесло). В погребениях V–VII вв. нет пока заметного имущественного неравенства.

Библиография

1. Этнология / под ред. Г.Е. Маркова и В.В. Пименова. – М., 1994. – С. 363.
2. Жебелев С.А. Северное Причерноморье // Исследования и статьи по истории Северного Причерноморья античной эпохи. – М.–Л. 1953. – С. 74; Тюменев А.И. Херсонесские этюды. Херсонес и местное население: тавры // ВДИ. – № 2. – 1949; Белов Г.Д. Херсонес Таврический. – Л., 1948; и др.
3. Иессен А.А. Греческая колонизация Северного Причерноморья. – Л., 1947; Каллистов Д.П. Очерки по истории Северного Причерноморья античной эпохи. – Л., 1949; Колобова К.М. К истории вопроса о греческой колонизации // ВДИ. – 1949. – № 2.
4. Абаев В.И. Осетинский язык и фольклор. – М.–Л., 1949; Блаватский В.Д. Пантикапей. Очерки истории столицы Боспора. – М., 1964.
5. Шилов В.П. Население Прикубанья конца VII–середины IV в. до н.э. – М.–Л., 1951. – С. 12–13 и др.
6. Блаватский В.Д. О рабах – меотах // КСИА. – 1969. – С. 116.
7. Степи Европейской части СССР в скифо-сарматское время // Археология СССР. – М., 1989. – С. 249.
8. Максимова М.И. Артюховский курган. – Л., 1979. – С. 18–19.
9. Там же. – С. 21.
10. Кавказ и Дон в произведениях античных авторов / сост. В.Ф.Петраков, В.В. Черноус. – Ростов-на-Дону, 1990. – С. 333–334.
11. Анфимов Н.В. Древние поселения Прикубанья. – Краснодар, 1953. – С. 16–18.
12. Алексеев В.П., Першиц А.И. История первобытного общества. – М., 2001. – С. 294.

13. Латышев В.В. Известия древних писателей греческих и латинских о Скифии и Кавказе // ВДИ. – 1947. – № 3. – С. 241–252.
14. Арутюнов С.А. Народы и культуры – развитие и взаимодействие. – М., 1989. – С. 8.
15. Арутюнов С.А. Билингвизм и бикультурализм // СЭ. – 1978. – № 2.
16. Бромлей Ю.В. Этнос и этнография. – М., 1973. – С. 167.
17. Латышев В.В. Указ соч. – С. 272.
18. Блаватский В.Д. Воздействие античной культуры на страны Северного Причерноморья // СА. – 1964. – № 2. – С. 13.
19. Латышев В.В. Указ соч. – С. 217.
20. Гадагатль А.М. Героический эпос Нарты адыгских (черкесских) народов. – Майкоп, 1987. – С. 190–191.
21. Там же. – С. 174.
22. Из адыгского народного эпоса / под общ. ред. Г.Ф. Турчанинова. – Нальчик, 1987. – С. 18.
23. Мифы народов мира. – М., 1980. – Т. I. – С. 606.
24. Намиток А. Происхождение черкесов. – Париж, 1939. Фр. / пер. на рус. – архив КБНЦ РАН. Инв. № 1104 – Р. С. 167.
25. Артамонов М.И. К вопросу о происхождении боспорских Спартокидов // ВДИ. – 1979. – № 1. – С. 34.
26. Крупнов Е.И. Древняя история и культура Кабарды. – М., 1957. – С. 161.
27. Потто В. Кавказская война в отдельных очерках, эпизодах, легендах и биографиях. – СПб., 1888. – С. 359–360.
28. Тойнби А.Дж. Постигание истории. – М., 1991. – С. 164.
29. Там же. – С. 164.
30. Потто В. Указ. соч. – С. 371.
31. Гадло А.В. Этническая история Северного Кавказа. – Л., 1979. – С. 46.
32. Гумилёв Л.Н. Древние тюрки. – М., 1993. – С. 35.
33. Бетров Р.Ж. Захоронение вождя гуннского времени у сел. Кишпек в Кабардино-Балкарии // Северный Кавказ в древности и в средние века. – М., 1980. – С. 113.
34. Климов Г.А. Введение в кавказское языкознание. – М., 1986. – С. 54; Шагиров А.К. Этимологический словарь адыгских (черкесских) языков. – М., 1977. – Т. 1.
35. Минаева Т.М. К вопросу о половцах на Ставрополье по археологическим данным. // Материалы по изучению Ставропольского края. – Ставрополь, 1964. – Вып. 2.
36. Гумилёв Л.Н. Тысячелетия вокруг Каспия. – М., 1993. – С. 68.
37. Там же. – С. 87.
38. Блаرامберг И.Ф. Историческое, топографическое, этнографическое и военное описание Кавказа // Адыги, балкарцы и карачаевцы в известиях европейских авторов XIII–XIX вв. – Нальчик, 1974. – С. 403.

ЭКОНОМИКА

УДК 65.01

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ УПРАВЛЕНЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Р.Т. Жамбекова

Формирование и развитие теорий современного менеджмента и бизнеса в условиях рыночной экономики призваны помочь руководителям бизнеса превратить научные и этические принципы из собрания абстрактных академических знаний в базовые жизненные ценности. Теория государственного управления и современного менеджмента особенно важна, когда мы пытаемся соединить две модели: вертикального и горизонтального управления. В этих условиях необходимо значительно расширить традиционные управленческие задачи с учетом в них личностных качеств работников, их индивидуальных и групповых целей, потребностей, мотивов поведения, а также системы взаимоотношений в трудовом коллективе. Для этого требуется формирование новых направлений в теории менеджмента, ориентированных на выработку принципов и методов мотивации трудового коллектива, создание условий, необходимых и достаточных для реализации организационных целей.

Предметом исследований в теории менеджмента должны стать экономическое поведение людей в их совместной деятельности и мотивационный механизм активизации этого поведения. Данный механизм основан на выявлении индивидуальных и групповых потребностей людей и их удовлетворении посредством мотивирования определенных стратегий поведения.

The formation and development of contemporary management and business theories under the market economy are called to give assistance to business managers in transferring scientific and ethic principles (based on abstract academic knowledge) into the basic lifelong values. The administrative management and contemporary business management theory is of great importance especially when we try to combine two models: the vertical and horizontal management. It is urgent to broaden the traditional managerial tasks taking into account personal qualities of the officers, their individual and corporation goals, demands, behavioral motives as well as the relationships amidst the working community. All these factors need the formation of new tendencies in the management theory oriented to realize the principles and methods of the community's motivation, the arrangement of the conditions which are necessary to bring into realization the organizational objectives.

The individuals' behaviour, their joint activity and motivation mechanisms should become the subject of the management theory investigation. The above -mentioned mechanism is based on the exposure of individual and community needs of people; its realization through motivating of definite behavioral strategies.

Эффективная практика управления всегда основывается на объективной и обоснованной теории. Попробуем кратко изложить наиболее важные, на наш взгляд, положения теории менеджмента, содержащиеся в работах ряда зарубежных и отечественных ученых. В фундаментальном исследовании американских специалистов в области организации и управления Г. Кунца и С. О'Доннелла определены девять основных подходов к управлению, рассматривающих его со следующих позиций: анализа ситуаций; изучения межличностных отношений и проблем лидерства в коллективе; оценки поведения малых и больших групп как единого социального организма; характеристики процесса функционирования кооперированной социальной

системы; взаимодействия социальной и технической систем; принятия решений с учетом их полезности; обмена информацией, центром которого является управляющий-менеджер; применения математических методов; операционального подхода [2: 91–106].

В частности, согласно операциональному подходу, имеется центральное ядро знаний об управлении, которое существует только в науке управления, а многие другие относящиеся к данному вопросу элементы этого знания заимствованы из иных, отличных от управления областей.

В рамках науки управления, охватывающей многие области знаний, особое место занимает теория менеджмента. Сущность этого понятия определяют по-разному. Вот, например, некоторые из распространенных определений. Менеджмент – это способ обращения с людьми; власть и искусство управления; умелость и административные навыки; орган управления или административная единица [9: 106] и т.д.

Известный американский ученый в области управления П. Дракер отмечает, что задача менеджмента состоит в том, чтобы сделать людей способными к совместному действию, придать их усилиям эффективность и сгладить присущие им слабости [8: 75].

Можно встретить определение менеджмента как реализации политики в пределах, определенных администратором, а также с использованием организации для решения задач, поставленных перед нею [7: 103]. Что же касается фигуры менеджера, то с точки зрения его социальных функций, это не просто узкий специалист, а человек, ответственный за процесс создания богатства [5: 146].

К примеру, система управления такой всемирно известной фирмы, как IBM, строится исходя из ориентации менеджмента прежде всего на человека. Базовый принцип внутренней политики этой фирмы – уважение к человеку как главной ценности компании – предполагает раскрепощение его творческой энергии, предоставление ему возможности проявлять инициативу, самостоятельность и предприимчивость [3: 7].

Определение менеджмента непосредственно связано с содержанием деятельности менеджера. Известный американский менеджер Ли Якокка выделяет такие главные ее элементы, как умение контактировать с людьми, распознавать их характер и побуждать к деятельности, способность давать поручения другим и вдохновлять людей на дело [6: 43, 49, 83, 85].

Суть японской модели менеджмента и организации деятельности сформулирована американским ученым японского происхождения У. Оучи в его так называемой «теории Z». Идеальная (в смысле эффективности и интегрированности) организация, по мнению У. Оучи, не должна иметь ни официальной организационной структуры, ни какой-либо формальной структуры вообще. В качестве коллектива с такой структурой им приводится хорошо сыгранная баскетбольная команда [4: 106, 107].

Если сторонники современной японской системы управления доказывают, что в японских фирмах организацию приспосабливают под человека, то в системе управления американской фирмы, напротив, представления о функциях, задачах и должностных обязанностях, правах и взаимодействиях предшествуют найму работника [1: 61]. По сформированным требованиям производится поиск наиболее подходящих кандидатов на конкретную должность, иными словами, людей приспосабливают к системе.

На наш взгляд, оба приведенных подхода страдают известной ограниченностью. Думается, что система и люди должны развиваться одновременно и в идеале достигать некоторого гармонического соответствия. Иначе говоря, организация должна совершенствовать людей, а люди, в свою очередь, – совершенствовать организационную систему.

Известно, что отечественная наука управления сформировалась в условиях господства практически только одной – общегосударственной формы собственности. Естественно поэтому, что законы, принципы и методы указанной науки были ориентированы на управление главным образом государственными предприятиями и организациями. Тем не менее, несмотря на отмеченное обстоятельство, а также на идеологизацию науки управления (как всей экономической науки), многие конкретные ее методы и методики имеют универсальный характер и могут быть

с успехом применены в условиях рыночных отношений. Это, в частности, касается методов рационализации организационных структур управления; совершенствования технологии выполнения работ, условий труда и использования рабочего времени; развития информационного и документального обслуживания деятельности; оснащения подразделений организационной и вычислительной техникой и др. Одновременно с использованием уже применявшихся (в том числе и модифицированных) принципов, подходов и методов управления предстоит разработка новых, пригодных в условиях многообразия форм собственности и развития предпринимательской деятельности.

Прежде основным объектом теории управления на микроуровне были предприятия и их трудовые коллективы. Традиционные подходы к исследованию последних сводились к изучению отдельных компонентов организации и процесса управления: организационной структуры управления, его принципов, методов и функций; кадров; организации труда; процесса подготовки и принятия решений; стиля и методов руководства и т.п.

Большинство исследователей обычно начинали анализ проблемы трудовой деятельности с вычленения таких ключевых моментов процесса управления, как права, обязанности, функции и полномочия, типы и стили руководства, методы и стимулы. Затем на основе строгих определений используемых понятий и (по возможности) подробной их классификации осуществлялся поиск сочетаний функций, прав и обязанностей, которые бы обеспечивали максимальную эффективность управления.

Нетрудно убедиться в том, что описанный подход вполне отвечает традициям научной организации труда, берущим начало от «научного менеджмента» в духе Ф. Тейлора, А. Файоля, Г. Эмерсона и др. И там, и здесь в центре внимания оказывается отдельный исполнитель некоторой функции, привязанный к данному месту и данному времени, а задачи исследования состоят в том, чтобы найти «оптимальные сочетания» рабочих действий.

Однако опыт внедрения рекомендаций научной организации труда и управления убедительно, на наш взгляд, показал, что, изучая внешние исполнительские трудовые функции, нельзя оставлять без внимания социальные, психологические и культурологические аспекты поведения людей в их совместной деятельности. Тем более это важно при изучении деятельности руководителя, чьи трудовые функции складываются в основном из интеллектуальных операций, органически вплетаемых в совместную деятельность и составляющих единое целое с трудовыми действиями всех остальных членов коллектива.

Необходимо значительно расширить традиционные управленческие задачи с учетом в них личностных качеств работников (руководителей и подчиненных), их индивидуальных и групповых целей, потребностей, мотивов поведения, а также системы взаимоотношений в трудовом коллективе. Для этого потребуются формирование новых направлений в теории менеджмента, ориентированных на выработку принципов и методов мотивации трудового коллектива, создание условий, необходимых и достаточных для реализации организационных целей.

Очевидно, что мотивирующие воздействия должны быть направлены на конкретных членов коллектива, а точнее – на индивидуальные цели, потребности, интересы работников, влияющие на их индивидуальное поведение, а в условиях совместной экономической деятельности – на экономическое поведение людей. Следовательно, предметом исследований в теории менеджмента должны стать экономическое поведение людей в их совместной деятельности и мотивационный механизм активизации этого поведения. Данный механизм основан на выявлении индивидуальных и групповых потребностей людей и их удовлетворении посредством мотивирования определенных стратегий поведения.

Под мотивацией подразумевают совокупность тех психологических моментов, которыми определяется поведение человека в целом. К психологическим моментам относят все виды побуждений: цели, влечения, переживания, интересы, стремления, идеалы, убеждения, установки и потребности. Все эти разнородные понятия часто употребляют в значении мотива поведения или побуждения.

Социологи различают стимулы как внешнее, объективное воздействие на человека и мотивы, представляющие собой внутреннее психологическое явление, отражение в психике человека внешнего воздействия, опосредованное субъективное отношение человека к своему поступку, сознательно поставленную цель, направляющую и объясняющую поведение.

С точки зрения направленности по отношению к достижению целей хозяйственной организации все виды мотивации можно подразделить на два вида: способствующие эффективному достижению цели (положительная мотивация) и препятствующие достижению цели (отрицательная мотивация), а по характеру направленности методов управления принято различать материальную, социальную и властную мотивацию.

Основными компонентами мотивационного механизма являются менеджер (руководитель) и подчиненный работник, способные привести в действие внутренние биосоциальные факторы мотивации поведения (творчество, потребности, установки, интересы, ценностные ориентации, цели), а также множество внешних стимулов экономического поведения (социально-политические условия, финансовая и налоговая политика, законодательно-правовые условия, производственная среда, жилищно-бытовые и семейные условия, духовная среда, природно-географическая среда и др.).

Мотивационный механизм реализуется посредством ряда последовательных процедур:

- 1) менеджер осуществляет постановку целей;
- 2) менеджер выбирает стратегию своего поведения (стратегия выбирается на основе оценки менеджером состояния факторов мотивации поведения подчиненного и его внешних стимулов. Далее менеджер моделирует и прогнозирует возможность выбора подчиненным тех или иных стратегий поведения, оценивает ожидаемые результаты);
- 3) менеджер реализует стратегию своего поведения путем воздействий, мотивирующих подчиненного к достижению целей;
- 4) подчиненный осознает воздействия менеджера, принимает (не принимает или частично принимает) данные воздействия в соответствии с собственными внутренними факторами мотивации поведения и их согласованностью с внешними стимулами, в итоге происходит активизация факторов мотивации поведения подчиненного;
- 5) подчиненный выбирает стратегию своего поведения и реализует ее в практической деятельности;
- 6) формируется результат от реализованных менеджером и подчиненным стратегий, который выражается разностью между планируемым показателем цели менеджмента, соответствующим выбору оптимальных стратегий менеджером и подчиненным, и фактическим показателем, обеспечиваемым фактически реализованными стратегиями;
- 7) удовлетворяются общественные, коллективные и личные потребности.

Таким образом, полнота удовлетворения потребностей зависит от правильности постановки цели и выбора методов активизации факторов, мотивации поведения, степени осознания и принятия подчиненным мотивирующих воздействий менеджера и реализации соответствующих стратегий.

Выбор оптимальной стратегии экономического поведения наиболее вероятен при максимальной активизации внутренних факторов мотивации во взаимодействии с внешними стимулами и в их согласованности.

При выборе оптимальных стратегий менеджером и подчиненным самоорганизация поведения и удовлетворение общественных, коллективных и индивидуальных потребностей менеджера и подчиненного достигает своего максимума.

Главным недостатком существующих подходов к изучению трудового коллектива является рассмотрение его как единого целого притом, что исследование не проникает во внутрь коллектива, не доводится до уровня индивида. В результате происходит обезличивание работника, человек рассматривается в качестве «трудового ресурса» или «личного фактора производства». Другая крайность – изучение работника исключительно как индивида, вне совместной деятель-

ности в трудовом коллективе. Напрашивается мысль о соединении этих двух подходов, т.е. необходимости изучения поведения работников в условиях совместной деятельности в социально-экономической системе.

В исследованиях по общей теории систем и теории управления всю совокупность систем разделяют на три больших класса: системы в неживой среде, в живой среде и в обществе (или социальные системы). В последнем классе выделяются социально-экономические системы (СЭС), в которых протекает экономическая деятельность людей. Под СЭС здесь понимаются все виды производственно-хозяйственных ассоциаций различных форм собственности.

В большинстве экономических исследований под системным подходом прежде всего понимают традиционный кибернетический подход, согласно которому на входе системы имеются некоторые ресурсы, а на выходе – результат функционирования системы. Такой подход, на наш взгляд, далеко не достаточен, так как необходимо прежде всего познать структуру и механизм функционирования системы.

В своем анализе в качестве главной методологической основы мы выбрали теорию управления социально-экономическими системами. Согласно этой теории, коллектив представляет собой сложную активную недетерминированную самоорганизующуюся СЭС. В качестве ее элементов выступают люди, обладающие свойством автономного активного целеполагания.

Другим существенным моментом является учет множественности структур отношений между элементами СЭС, через которую определяется взаимодействие материально-вещественных, духовных и человеческих ресурсов в системе. Таким образом, основное отличие теории управления СЭС от других подходов заключается в том, что она позволяет учесть все значимые факторы моделирования индивидуального и группового экономического поведения субъектов, применить строгий математический аппарат.

Библиография

1. Исаенко А.Н. Кадры управления в корпорациях США. – М.: Наука, 1988.
2. Кунц Г., О'Донелл С. Управление. Системный и ситуационный анализ управленческих функций / пер. с англ.: в 2-х т. – М.: Прогресс, 1981.
3. Мерсер Д. ИБМ: Управление в самой преуспевающей корпорации мира / пер. с англ. – М.: Прогресс, 1991.
4. Оучи У.Г. Методы организации производством: японский и американский подходы / сокр. пер. с англ. – М.: Экономика, 1984.
5. Попов А.В. Теория и организация американского менеджмента. – М.: МГУ, 1991.
6. Якокка Л. Карьера менеджера / пер. с англ. – М.: Прогресс, 1991.
7. Classics in Management / ed. by M.F. Merrile. – N.Y., 1960.
8. Drucker P. Management and the World'Work // Harvard Business Review. – 1998. – № 5.

**МЕХАНИЗМ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОГО
ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ РЕГИОНАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ
ГОСУДАРСТВЕННЫХ ЗАКУПОК ТОВАРОВ (РАБОТ, УСЛУГ)**

М.В. Аликаева, Ю.С. Крюкова

В условиях происходящих в стране социально-экономических преобразований актуальной становится проблема эффективного управления региональной экономикой как подсистемой социально-экономического комплекса страны. В настоящей работе рассмотрен процесс обеспечения эффективного функционирования региональной системы государственных закупок товаров (работ, услуг) как одного из механизмов регулирования социально-экономического развития регионов. Сделан вывод о том, что осуществление комплексного подхода к повышению эффективности функционирования региональной системы государственных закупок должно осуществляться на основе разработки соответствующего механизма. В свою очередь, совершенствование функционирования региональной системы государственных закупок позволит повысить эффективность бюджетных расходов по данному направлению, и, как следствие, приведет к повышению эффективности управления региональной экономикой.

In conditions of socio economic transformations occurring in country there is an actual problem to efficient control regional economy as a subsystem of a socio economic complex of country. In the present work process of maintenance of effective functioning regional system state purchases goods (works, services) as one of mechanisms regulation socio economic development of regions is considered. The conclusion that realization the complex approach to increase efficiency functioning regional system state purchases should be carried out on the basis development of the corresponding mechanism is made. In turn, perfection of functioning regional system state purchases will allow to increase efficiency of expenditures on public account on the given direction, and as consequence, will lead to increase a management efficiency by regional economy.

Социально-экономические преобразования, происходящие в России, переход к рыночным отношениям, изменение схем поступления ресурсов для экономического развития поставили перед регионами задачу самоопределения в общей системе воспроизводственных отношений. Сегодня регион выполняет функцию полноценного экономического субъекта национальной экономики, но в то же время остается необходимость государственного управления экономическим развитием региона, что обусловлено недостатками функционирования рыночной экономики.

Государственное воздействие на развитие экономики региона носит двойственный характер. С одной стороны, государство воздействует на воспроизводственный процесс посредством составления документов, ориентирующих участников воспроизводственного процесса в регионе относительно возможных макроэкономических перспектив развития, что позволяет им выбрать верную стратегию и тактику дальнейшего развития. С другой стороны, существует портфель активных механизмов государственного регулирования социально-экономического развития регионов, одним из которых являются государственные заказы на поставку товаров (работ, услуг). В настоящее время не учитывается вклад государственного заказа в реализацию экономической политики региона. Вместе с тем система государственного заказа является тем механизмом, который позволяет государству проводить работу в системе управления эффективностью государственных расходов, планирования и мониторинга социально-экономической результативности бюджетных расходов. Поэтому в данной статье нам представляется необходимым рассмотреть механизм обеспечения эффективного функционирования региональной системы государственных закупок.

Региональная система закупок товаров (работ, услуг) для государственных нужд позволяет не только определить эффективность расходов средств региональных бюджетов главными распорядителями, получателями бюджетных средств, но и повысить эффективность использования ресурсов в государственном секторе в целом.

На наш взгляд, система государственных закупок товаров (работ, услуг) является неотъемлемым элементом управления экономикой региона, поэтому рассмотрим процесс обеспечения эффективного функционирования региональной системы государственных закупок на примере одного из субъектов Северо-Кавказского федерального округа – Кабардино-Балкарской Республики (далее – КБР) (рисунок).

В целом процесс обеспечения эффективного функционирования данной системы может быть разделен на следующие этапы: процесс анализа, процесс организации и процесс контроля. При этом каждый этап можно условно разделить на несколько ступеней. Так, процесс анализа включает в себя прежде всего анализ функционирования региональной системы государственных закупок, а также разработку методики оценки эффективности региональных бюджетных расходов на закупки товаров (работ, услуг) для государственных нужд. Проведение анализа функционирования региональной системы государственных закупок имеет особую значимость, так как финансовые средства, направляемые на закупку товаров (работ, услуг) для государственных нужд, составляют значительную часть расходов бюджетов всех уровней.

Что касается показателей оценки эффективности бюджетных расходов на государственные закупки товаров (работ, услуг), в ряде регионов (Саратовская область, Хабаровский край, Таймырский автономный округ) они представлены лишь двумя показателями [1]:

– долей расходов на закупку товаров (работ, услуг), осуществленных через систему государственного заказа:

$$\frac{\Gamma_3}{O_p} \times 100 \%, \quad (1)$$

где Γ_3 – объем расходов, осуществленных через систему государственного заказа;

O_p – объем всех расходов на закупку товаров, работ и услуг;

– долей расходов на закупку товаров, работ и услуг, произведенных на основе конкурсов:

$$\frac{\Gamma_{зк}}{O_p} \times 100 \%, \quad (2)$$

где $\Gamma_{зк}$ – объем государственных закупок, произведенных на конкурсной основе.

Такой подход к определению эффективности бюджетных расходов на государственные закупки, по нашему мнению, отражает исключительно удельный вес государственных заказов, размещенных через систему государственных закупок, а также структуру процедур размещения государственного заказа.

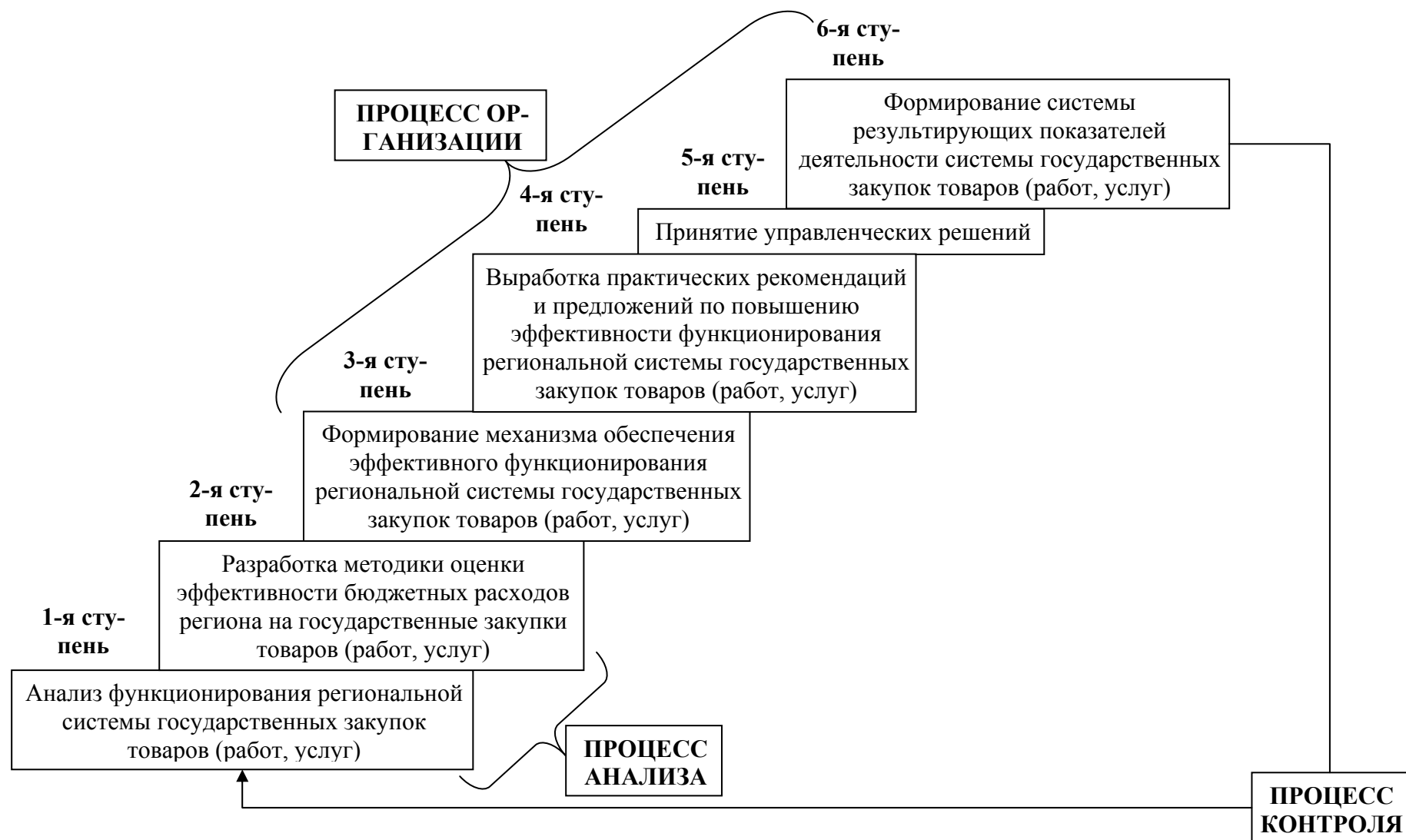


Рисунок. Механизм обеспечения эффективного функционирования региональной системы государственных закупок товаров (работ, услуг)

Анализ существующих методик оценки эффективности и результативности бюджетных расходов позволяет прийти к выводу о смещении в них акцента с оценки эффективности бюджетных расходов на государственные закупки товаров (работ, услуг), на оценку эффективности деятельности органов исполнительной власти или оценку эффективности самой системы размещения государственного заказа. Об этом свидетельствует и рассмотрение ряда показателей, характеризующих функционирование системы государственных закупок (табл. 1).

Таким образом, действующие в настоящее время «Методические рекомендации по оценке эффективности проведения конкурсов на размещение заказов на поставки товаров для государственных нужд» (утверждены Письмом Министерства экономики РФ от 02.06.2000 г. № АС-751/4-605 [2]) и «Методические рекомендации по оценке эффективности проведения конкурсов на размещение заказов на поставки товаров для государственных нужд» (утверждены Письмом Министерства экономического развития и торговли РФ от 27.03.2003 г. № АШ-815/05 [3]) применимы только для оценки эффективности проведения конкурсов и только на размещение заказов на поставки товаров, существенно сужая сферу их применения. При этом показателями эффективности являются абсолютная и относительная экономия бюджетных средств, которые не всегда являются показателями эффективности осуществления бюджетных расходов.

Таблица 1

Законодательно закрепленные показатели, характеризующие отдельные аспекты системы государственных закупок товаров (работ, услуг) [1]

Субъект РФ	Наименование законодательно-нормативного документа, регламентирующего порядок оценки эффективности бюджетных расходов	Показатели, характеризующие систему государственных закупок в отдельных ее аспектах
Саратовская область	Постановление Правительства от 22.08.2006 г. № 261-П «О мерах по повышению эффективности закупок для государственных нужд области и муниципальных нужд» [4]	1) экономическая эффективность размещения заказов: $\mathcal{E} = \frac{Ц_c - Ц_k}{Ц_k} \times 100 \%,$ где $Ц_c$ – средняя цена предложений поставщиков; $Ц_k$ – цена предложения, по которой заключен контракт; 2) соблюдение законодательства при размещении заказов; 3) квалификация членов комиссии по размещению заказов; 4) уменьшение доли закупок, проводимых без размещения заказов и заключения государственных контрактов, подлежащих регистрации (закупки на сумму, не превышающую установленный Центральным банком РФ предельный размер расчетов наличными деньгами между юридическими лицами по одной сделке), в общем объеме закупок

Тульская область	Постановление Администрации Тульской области от 27.06.2007 г. № 311 «О регулировании деятельности органов исполнительной власти в сфере размещению заказов на поставку товаров, выполнение работ, оказание услуг для нужд Тульской области» [5]	1) удельный вес отдельных видов закупок (открытых конкурсов, открытых аукционов, запросов котировок, у единственного поставщика, на товарных биржах, электронных торгов отдельно по каждому виду) в общем числе закупок; 2) удельный вес расторгнутых государственных контрактов в общем числе заключенных государственных контрактов; 3) среднее количество поставщиков, участвующих в одном конкурсе, аукционе, запросе котировок; 4) общая экономия бюджетных средств (без учета затрат на организацию проведения торгов) (в абсолютных и относительных показателях)
Астраханская область	Постановление Губернатора Астраханской области от 04.08.2003 г. № 369 «Об оценке эффективности расходов, осуществляемых из областного бюджета» [6]	1) доля расходов на закупку товаров, работ и услуг для государственных нужд за счет средств областного бюджета, осуществляемых посредством заключения государственных контрактов; 2) доля расходов на закупку товаров, работ и услуг для государственных нужд за счет средств областного бюджета, распределяемых по конкурсу; 3) уровень экономии бюджетных ресурсов, достигнутый посредством использования процедуры государственного заказа

Противоположный метод определения эффективности бюджетных расходов на государственные закупки товаров (работ, услуг) нашел отражение в отчете Центра исследований «Сандж» при поддержке Фонда «Сорос-Казахстан» [7]. Данный подход заключается в сравнении необходимой суммы и ожидаемого срока эксплуатации закупки по оценке потребителя и фактической стоимости и срока эксплуатации сделанной закупки. Данный путь основан на предположении, что более качественный товар или услуга имеют большую стоимость и, соответственно, срок эксплуатации также больше. Таким образом, сравнение цены и качества путем оценки срока и условий эксплуатации позволяют определить экономические потери [7]. Как справедливо отмечает Г.И. Мартыненко, «для определения максимально возможной эффективности расходования средств необходимо провести сопоставление соответствующих выгод и затрат в течение всего срока службы закупаемых товаров, работ и услуг...» [8]. Однако данная методика также далека от оценки эффективности бюджетных расходов на государственные закупки товаров (работ, услуг).

Решением проблемы отсутствия комплексной методики оценки эффективности бюджетных расходов на государственные закупки, по нашему мнению, является разработка интегральной методики оценки эффективности бюджетных расходов на государственные закупки товаров (работ, услуг). С целью разработки и применения данной методики необходимо учитывать следующие положения:

1. Показатели эффективности бюджетных расходов обладают разной информативностью в зависимости от уровня распределения, на котором они определяются. Наиболее информативны показатели, считающиеся на уровне получателя бюджетных средств [9].

2. Абстрагируясь от системы бюджетополучателей региона, каждого из них можно считать субъектом микроанализа, имеющим собственный бюджет (подтвержденный объем бюджетных ассигнований), цели, задачи деятельности, а также показатели для мониторинга деятельности.

3. Так же, как и коммерческие организации, общественные и некоммерческие организации могут разрабатывать с целью принятия эффективных управленческих решений систему соответствующих бюджетов [10] (в рамках нашей методики): бюджет закупки товаров, бюджет заказа работ, бюджет приобретения услуг, а также бюджеты по реализации определенных целевых или ведомственных программ, причем данные бюджеты должны быть взаимоувязаны.

4. Планирование и осуществление государственных закупок товаров (работ, услуг) должно осуществляться в рамках внедрения системы бюджетирования, ориентированного на результат.

5. При выборе критериев оценки эффективности системы следует иметь в виду, что глобальный критерий эффективности обусловлен целевой функцией системы, и сложность его формулирования связана с отсутствием явных показателей, характеризующих уровень эффективности системы [11].

6. Система эффективной закупочной деятельности бюджетополучателя, кроме интегральной методики оценки эффективности бюджетных расходов на государственных закупки товаров (работ, услуг), должна включать:

- систему эффективного планирования, состоящую из подсистем анализа общественных нужд и потребностей, состояния и динамики рынка, включая продукцию, производителей, технологии, посредников, информацию и пр. параметры;

- систему эффективного контроллинга, состоящую из подсистемы надежных источников информации, подсистемы анализа и оценки информации и принятия решений;

- эффективную обратную связь исполнения контракта с планированием закупок, включающую в себя инфраструктуру передачи информации о состоянии, динамике и окончательных итогах исполнения контракта для формирования планов и бюджетов закупок на будущее;

- системный менеджмент закупок, создаваемый как в рамках конкретного учреждения и конкретной закупки товаров, работ и услуг, так и в более широких масштабах управления отраслью, территории;

- информационно-коммуникативную систему, базирующуюся на современных программно-аппаратных средствах формирования, сбора, хранения, обработки и передачи информации, ориентированную как на самые широкие масштабы (в целях привлечения потенциальных поставщиков, подрядчиков, исполнителей), так и на нужды каждого конкретного потребителя (пользователя);

- систему рыночного мониторинга, создаваемую в целях постоянного и всестороннего наблюдения за ценовыми, технологическими, качественными и количественными изменениями, происходящими на рынке государственных закупок [12].

Ниже нами предложена методика расчета интегрального (общего) показателя эффективности бюджетных расходов на государственные закупки товаров (работ, услуг) [13]. Разработанная нами методика позволяет корректировать систему показателей, включая в нее дополнительные показатели или исключая неприменимые в настоящее время. В этом состоит принципиальное отличие от всех разработанных ранее методик, в которых расчет интегрального показателя либо просто отсутствует, либо жестко привязан к конкретному направлению расходов (образование, социально-культурная сфера, здравоохранение, ЖКХ и др.), что лишает методику возможности универсального применения.

Общими для всех бюджетополучателей показателями разработанной нами методики являются:

1. Показатели оценки планирования процедур закупок:

Эффективность планирования расходной части бюджета:

$$\Theta_{\text{п}} = \frac{\sum C_{\text{дф}}}{B}, \quad (3)$$

где $\Theta_{\text{п}}$ – эффективность планирования расходной части бюджета (доля, %);

оптимальное значение – 95 %;

$\sum C_{\text{дф}}$ – общая фактическая стоимость всех лотов, по которым заключены договора (по предельной стоимости);

B – общая сумма средств в бюджете Заказчика.

1.1. Доля незаключенных договоров по результатам закупочных процедур:

$$D_{\text{А}} = \frac{\sum C_{\text{пд}} - \sum C_{\text{к}}}{\sum C_{\text{пд}}}, \quad (4)$$

где $D_{\text{А}}$ – доля незаключенных договоров по результатам закупочных процедур (доля, %); оптимальное значение – 3 %;

$\sum C_{\text{пд}}$ – общая стоимость лотов, по которым определены победители;

$\sum C_{\text{к}}$ – общая стоимость всех договоров, заключенных в отчетном периоде.

1.2. Своевременность поставки товаров (выполнения работ, оказания услуг):

$$IT_{\text{к}} = \frac{(D_{\text{вып}} - D_{\text{нач}}) - \bar{T}_{\text{к}}}{\bar{T}_{\text{к}}}, \quad (5)$$

где $IT_{\text{к}}$ – поставки товаров (выполнения работ, оказания услуг) (доля, %);

оптимальное значение – 20 %;

$D_{\text{вып}}$ – плановая дата начала поставки товаров (выполнения работ, оказания услуг);

$D_{\text{нач}}$ – фактическая дата начала поставки товаров (выполнения работ, оказания услуг);

$\bar{T}_{\text{к}}$ – средняя продолжительность поставки товаров (выполнения работ, оказания услуг).

2. Эффективность использования бюджетных средств:

$$\dot{\Upsilon}_{\text{эб}} = 1 - \frac{\sum \tilde{N}_{\text{ао}}}{\sum \tilde{N}_{\text{е}}}, \quad (6)$$

где $\dot{\Upsilon}_{\text{эб}}$ – эффективность использования бюджетных средств (доля, %).

Оптимальное значение – 8 %.

3. Показатели исполнения договора – качества выбора подрядчика:

3.1. Исполнение условий договора по поставке:

$$I_{\text{д}} = \frac{T_{\text{пр}}}{T_{\text{ф}}}, \quad (7)$$

где $I_{\text{д}}$ – исполнение условий договора по поставке (доля, %);

оптимальное значение – 5 %;

$T_{\text{пр}}$ – число дней просрочки поставки;

$T_{\text{ф}}$ – фактический срок поставки в днях.

3.2. Исполнение условий договора по качеству продукции:

$$I_k = \frac{K_p}{K_{зд}}, \quad (8)$$

где I_k – исполнение условий договора по качеству продукции (доля, %);

оптимальное значение – 4 %;

K_p – количество рекламаций;

$K_{зд}$ – количество заключенных договоров.

3.3. Удельный вес расторгнутых договоров в общем числе заключенных за период договоров:

$$Y_{рд} = \frac{K_{рд}}{K_{зд}}, \quad (9)$$

где $Y_{рд}$ – удельный вес расторгнутых договоров в общем числе заключенных за период договоров (доля, %); оптимальное значение – 5 %;

$K_{зд}$ – количество расторгнутых по инициативе Заказчика договоров.

Ряд показателей нашей методики являются результатом функционирования системы закупок товаров (работ, услуг) в заполярном филиале ОАО «ГМК «Норильский никель» [14]. Данный опыт, по нашему мнению, является значительным вкладом в развитие показателей оценки эффективности расходов на закупки товаров (работ, услуг) (в нашем случае – для государственных нужд).

Каждому из вышеперечисленных показателей присваиваются вес, оптимальное значение. Полученные значения показателей сравнивают с их оптимальными значениями и вычисляют отклонения от их оптимума.

Используя полученные значения отклонений по каждому показателю $ц_i$, рассчитывают балльную оценку этого показателя по следующей шкале распределения баллов (табл. 2):

Таблица 2

Шкала распределения баллов показателей

Round $ц_i$	–10 и менее	–9	–8	–7	–6	–5	0	5	6	7	8	9	10 и более
Балл (B)	0	1	2	3	4	5	5	5	6	7	8	9	10

Round – функция приведения $ц_i$ к целому числу путем округления:

$$R = \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^n (\beta_i \times \beta_{ij}) \alpha_j. \quad (10)$$

Согласно полученным балльным оценкам и распределению весов среди показателей, методом взвешенного суммирования рассчитывают итоговый рейтинг Заказчика (министерства, ведомства).

Весовые значения вышеприведенных показателей считаем целесообразным определять каждым Заказчиком.

В качестве специального показателя, являющегося фактически итогом осуществления закупочной деятельности в рамках среднесрочного бюджетирования, ориентированного на результат, предлагаем использовать следующий показатель:

$$\Pi_{\text{праг}} = \frac{K_{\text{оу}} \times K_{\text{ку}}}{3}, \quad (11)$$

где $K_{\text{оу}}$ – показатель, характеризующий объем услуг;

$K_{\text{ку}}$ – показатель, характеризующий качество услуг;

3 – затраты на выполнение данных услуг в год.

Итоговый показатель эффективности бюджетных расходов системы индикаторов рассчитывается на основе весовых значений показателей эффективности каждой группы индикаторов:

$$E_{\text{итог}} = \sum_k^n (E_k \times W_k). \quad (12)$$

Уровень эффективности бюджетных расходов Заказчика в целом определяется исходя из его величины, при этом наиболее приемлемой, на наш взгляд, является шкала, предложенная И.А. Никишиным [15]:

- неудовлетворительный уровень – 0–25 %;
- низкий уровень – 25–45 %;
- удовлетворительный уровень – 45–60 %;
- средний уровень – 60–80 %;
- высокий уровень – 80–100 %.

Таким образом, в результате расчета двух групп показателей – общих и специального – рассчитывается рейтинговое число каждого Заказчика, характеризующее его деятельность по закупке товаров (работ, услуг) для государственных нужд и позволяющее оценить эффективность его расходов по данному направлению. На наш взгляд, в случае расчета каждым Заказчиком такой системы показателей можно сравнивать рейтинги Заказчиков, публиковать их в СМИ и тем самым поддерживать их конкуренцию за ведущие места в рейтинге, что, в свою очередь, будет служить стимулом для повышения эффективности бюджетных расходов республики.

Рассматривая процесс организации эффективного функционирования региональной системы государственных закупок, необходимо выделить и такие ступени, как выработка практических рекомендаций и предложений по повышению эффективности функционирования данной системы, а также принятие управленческих решений и формирование результирующих показателей деятельности региональной системы государственных закупок. При этом информационной основой для принятия управленческих решений должны стать показатели, рассмотренные нами выше.

Завершающим этапом должен стать процесс контроля изменений функционирования региональной системы государственных закупок как итога проведенных мероприятий по повышению эффективности ее функционирования.

Таким образом, осуществление комплексного подхода к повышению эффективности функционирования региональной системы государственных закупок должно осуществляться на основе разработки соответствующего механизма. В свою очередь, совершенствование функционирования региональной системы государственных закупок позволит повысить эффективность бюджетных расходов по данному направлению, и, как следствие, приведет к повышению эффективности управления региональной экономикой.

Библиография

1. Обзор региональных методик оценки эффективности и результативности бюджетных расходов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: http://www.ach-fci.ru/33obl/Activity/Metod/Metod15/ftpfile2/html_download (дата обращения 15.10.2009).
2. Письмо Министерства экономики РФ от 02.06.2000 г. № АС – 751/4-605. «Методические рекомендации по оценке эффективности проведения конкурсов на размещение заказов на поставки товаров для государственных нужд».
3. Письмо Министерства экономического развития и торговли РФ от 27.03.2003 г. № АШ – 815/05. «Методические рекомендации по оценке эффективности проведения конкурсов на размещение заказов на поставки товаров для государственных нужд».
4. Постановление Правительства Саратовской области от 22.08.2006 г. № 261-П. «О мерах по повышению эффективности закупок для государственных нужд области и муниципальных нужд».
5. Постановление Администрации Тульской области от 27.06.2007 г. № 311. «О регулировании деятельности органов исполнительной власти в сфере размещения заказов на поставку товаров, выполнение работ, оказание услуг для нужд Тульской области».
6. Постановление Губернатора Астраханской области от 04.08.2003 г. № 369. «Об оценке эффективности расходов, осуществляемых из областного бюджета».
7. Эффективность государственных закупок. Центр Исследований «Сандж» при поддержке Фонда Сорос – Казахстан. – 2007. – 65 с.
8. Мартыненко Г.И. Размещение заказов на поставки товаров, выполнение работ, оказание услуг для государственных и муниципальных нужд. Антимонопольный контроль // Право и экономика. – 2006. – № 10.
9. Лушин С.И. Об эффективности государственного бюджета // Финансы. – 2004. – № 10. – С. 12–16.
10. Волкова О.Н. Управленческий учет. – М.: ТК Велби, Проспект, 2007. – 472 с.
11. Садчиков А.С. Аудит эффективности использования ресурсов: методологический подход // Аудиторские ведомости. – 2007. – № 6*.
12. Талеров П.И. Эффективность госзакупок: только ли в экономии средств [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: http://stroy puls.ru/vipusk/detail.php?article_id=27071&spphrase_id=619 (дата обращения 12.03.2010).
13. Проблемы экономики и управления предприятиями, отраслями, комплексами: монография / под общ. ред. С.С. Чернова. – Книга 10. – Новосибирск: ЦРНС, 2009. – 198 с.
14. Жданов А.Ю. Управление закупками с использованием конкурсных процедур: технология внедрения и организации. – М.: КНОРУС, 2007. – 288 с.
15. Никишин А.И. Разработка комплексной системы оценки эффективности деятельности региональных органов государственного управления: автореф. дис. ... канд. экон. наук – М., 2007.

КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТЬ РАБОЧЕЙ СИЛЫ КАК ОСНОВНОЙ ФАКТОР ИННОВАЦИОННОГО ЭКОНОМИЧЕСКОГО РОСТА

Л.О. Асланова, А.Р. Закуреев

Статья посвящена проблемам конкурентоспособности рабочей силы на рынке труда как основного фактора инновационного экономического роста. В ней приводятся основные субстанциональные характеристики, система показателей конкурентоспособности работника. Раскрыта сущность инвестиций в человеческий капитал.

The article is dedicated to problem to competitiveness of the labour on the labour market, as the main factor Innovacionnal development economic growing. In she happens to the main base of the feature, system of the rates of competitiveness workman. Revealled essence investment in human capital.

Конкурентоспособность рабочей силы как основной фактор инновационного экономического роста

Процессы глобализации и интернализации, с одной стороны, и ограниченность факторов экономического развития (инвестиций, квалифицированной рабочей силы и т.д.), с другой стороны, объективно порождают конкуренцию между странами за создание благоприятных условий для осуществления предпринимательской деятельности и проживания населения. Инвестиции в производство и трудовые ресурсы закономерно поступают в наиболее привлекательные, конкурентоспособные регионы как места функционирования бизнеса, работы и жизни людей.

С повышением уровня и качества жизни людей возрастает значение не только экономических, но и социальных, экологических и других аспектов конкурентоспособности. В этих условиях именно конкурентоспособность становится решающим фактором инновационного развития экономики и одной из основных целей стратегии развития страны.

С переходом России на рыночные методы хозяйствования международная конкуренция приняла глобальный характер. Она рассматривается как инструмент в борьбе за место в формирующейся единой геоэкономической системе, которую скрепляют технико-экономические связи, согласованные торговые и валютно-финансовые режимы. Основными тенденциями развития этой системы на современном этапе являются непрерывный, постоянно ускоряющийся инновационный процесс и расширяющаяся глобализация рынков. Сегодня мирохозяйственные связи стали всеохватывающей системой, включающей не только обмен сырьем и готовой продукцией, трудовыми ресурсами, но и одновременно все другие стадии воспроизводственного процесса – НИОКР, производственную социализацию, кооперацию и другие формы взаимосвязей национальных хозяйств. Обязательным условием полноценного экономического роста является неременное участие страны в мировом рынке наукоемкой продукции и научно-технической информации.

С середины 70-х годов XX века понятие конкурентоспособности приобрело важное значение при оценке мирохозяйственных позиций страны. Ключевая роль конкурентоспособности в современном мире объясняет усиливающийся интерес к исследованию этой экономической категории. Актуальность исследования этой категории возрастает по мере формирования рыночных отношений и создания конкурентной среды. Такая позиция представляет научный и практический интерес.

Сущность конкурентоспособности следует рассматривать как системную категорию. С точки зрения системного подхода конкурентоспособность может быть представлена в виде свойства производственно-экономических систем (каковыми являются, например, рынки труда) изменять траекторию движения или намеченный режим функционирования в процессе сохранения, развития уже имеющихся или создания новых конкурентных преимуществ.

«Показатель конкурентоспособности стран, – пишет профессор В. Андрианов, – является синтетическим, объединяющим конкурентоспособность товара, товаропроизводителя, отраслевую конкурентоспособность и характеризующим положение страны на мировом рынке».

В монографии исследователя в области экономики А.З. Селезнева приводится комплекс показателей конкурентоспособности. Конкурентные позиции на уровне рынков он предлагает определять на основе тринадцати показателей. К ним относятся следующие показатели: мощности производимого на территории региона сырья, материалов, топливно-энергетических ресурсов; обеспеченности производственной, рыночной и социальной инфраструктурой; степени износа оборудования и перспективы его замены; отдаленности поставщиков и потребителей основной массы ввоза-вывоза (не менее 60 % объема); наличия транспортных скоростных магистралей, морских и речных портов, инфраструктуры международной связи; экологической обстановки; обеспеченности высококвалифицированными кадрами и др.

В.А. Андреев предлагает оценивать социально-экономическую конкурентоспособность на основе взвешенных рангов двух групп показателей: уровня жизни и инвестиционной привлекательности сравниваемых объектов. Параметр уровня жизни включает в себя показатели: взвешенных рангов покупательной способности населения; доли населения, живущего ниже прожиточного минимума; уровня безработицы. Индикатор инвестиционной привлекательности представлен взвешенными показателями реальных инвестиций, инвестиционного потенциала, инвестиционного риска, удельного веса убыточных предприятий.

С.Г. Важенин, А.Р. Злоченко, А.И. Татаркин предлагают оценивать конкурентоспособность макрорегионов по следующим параметрам их экономического поведения: затраты на рабочую силу и их структура, интенсивность обновления основных фондов, конъюнктура инвестиционного рынка, инновационная мобильность [1].

М. Портер в своей фундаментальной монографии «Международная конкуренция» выделяет пять главных факторов, воздействующих на конкурентоспособность на уровне стран: рабочая сила; наука и технология; капитал; инфраструктура; информация. Главной детерминантой, относительно которой должно рассматриваться влияние этих факторов на конкурентоспособность, выступает эффективность производства (продуктивность использования имеющихся трудовых ресурсов и постоянное ее увеличение) плюс максимально возможное повышение качества продукции, которое в условиях инновационного роста невозможно без инвестиций в человеческий капитал [7].

Согласно концепции М. Портера, развитие конкурентоспособности, в том числе рабочей силы, происходит по следующим четырем стадиям: конкуренция на основе факторов производства; конкуренция на основе инвестиций; конкуренция на основе нововведений; конкуренция на основе богатства. Первые три стадии обеспечивают экономический рост, последняя стадия – застой и спад.

К примеру, в ЕС экономика считается конкурентоспособной, если ее население имеет достаточно высокий и растущий уровень жизни и высокий уровень занятости на устойчивой основе. Для определения индикаторов измерения конкурентоспособности ЕС Европейской комиссией используется методика бенчмаркинга [8].

В качестве примера можно рассмотреть индикаторы, применяемые в отчетах об экономической и социальной интеграции:

– экономика (ВРП на душу населения, занятость по отраслям, количество заявок на европейский патент на 1 млн чел.);

- рынок труда (уровень безработицы, застойная безработица, уровень занятости населения в возрасте 15–64 лет);
- демография (численность населения, плотность населения на один квадратный метр, процент населения в возрасте до 15 лет, 15–64 и более 65 лет);
- образование (образовательный уровень лиц в возрасте 25–59 лет).

Использование термина «конкурентоспособность» относительно человека как субъекта экономической жизни является достаточно распространенным явлением. Формулировки понятия конкурентоспособности на рынке труда в работах различных авторов не однозначны. Часто в качестве синонима понятия «конкурентоспособность человека как субъекта экономической жизни» используются термины «конкурентоспособность работника», «конкурентоспособность персонала», «конкурентоспособный трудовой потенциал», «конкурентоспособность рабочей силы», «конкурентоспособность трудовых ресурсов», «конкурентоспособность потенциала управленческого работника и персонала», а также «конкурентоспособность рабочего, специалиста и менеджера» [11].

Конкурентоспособность на рынке труда – понятие относительное, поскольку рынок труда неоднороден и может быть структурирован на сегменты, различающиеся степенью рыночной потребности в функциональном качестве труда, уровнем уникальности качества рабочей силы, а также особенностями потребительского спроса на рабочую силу.

Конкурентоспособность на рынке труда формируется на различных уровнях:

- эгоуровне (индивидуальном, на уровне отдельного работника);
- микроуровне (корпоративном, на уровне организации, предприятия);
- макроуровне (государственном, региональном).

В современной отечественной литературе выделяют две концептуальные схемы, отражающие различные точки зрения на объект конкурентоспособности на рынке труда.

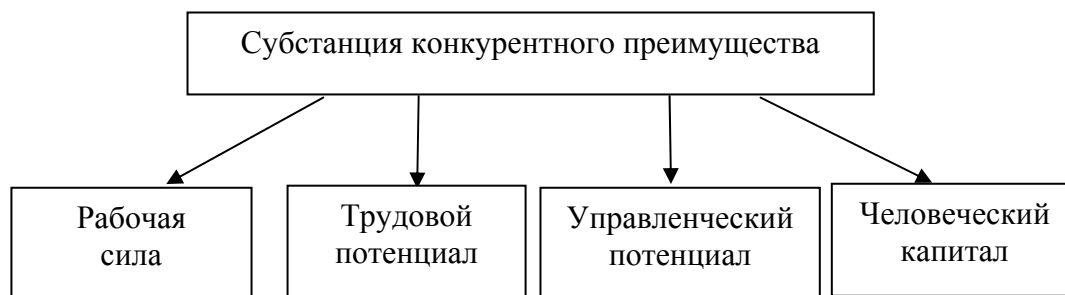


Схема 1. Субстанция конкурентных преимуществ работника (сост. авт.)

Представители первой концептуальной схемы рассматривают конкурентоспособность на рынке труда как специфический вид товарной конкурентоспособности, который определяется потребительной стоимостью реализуемого товара, его качественной определенностью (таблица).

Таблица

Основные понятия концепции «конкурентоспособность на рынке труда»

Характеристики концепции	1-я концептуальная схема		2-я концептуальная схема		
	Конкурентоспособность рабочей силы	Конкурентоспособность потенциала	Конкурентоспособность работника	Конкурентоспособность персонала	Конкурентоспособность трудовых ресурсов
Признак классификации	Субстанция конкурентных преимуществ		Организационно-экономическая форма потребляемого товара (рабочей силы), ее качественная определенность		
Объект	Рабочая сила	Потенциал	Работник	Персонал (совокупный работник)	Трудовые ресурсы
Предмет	Качественные характеристики рабочей силы		Механизм приведения конкурентных преимуществ способности к труду в функционирующее состояние		
Оценочные показатели конкурентоспособности	Квалификация Стаж работы по профессии Возраст Образование Физиологические характеристики Социально-бытовые характеристики	Профессионализм Компетентность Личностные качества Инновационный потенциал Мотивационный потенциал	Качественные характеристики рабочей силы Условия найма Качество труда Полезный эффект Совокупные затраты	Качественные характеристики Количественные характеристики Условия найма Качество труда Полезный эффект Совокупные затраты	Экономически активное население Экономически неактивное население Показатели структуры Полезный эффект Совокупные затраты

В качестве основополагающего начала, определяющего специфику и конкретно-видовое содержание конкурентоспособности на рынке труда, представители второй концептуальной схемы рассматривают механизм приведения конкурентных преимуществ рабочей силы в функционирующее состояние (схема 2).

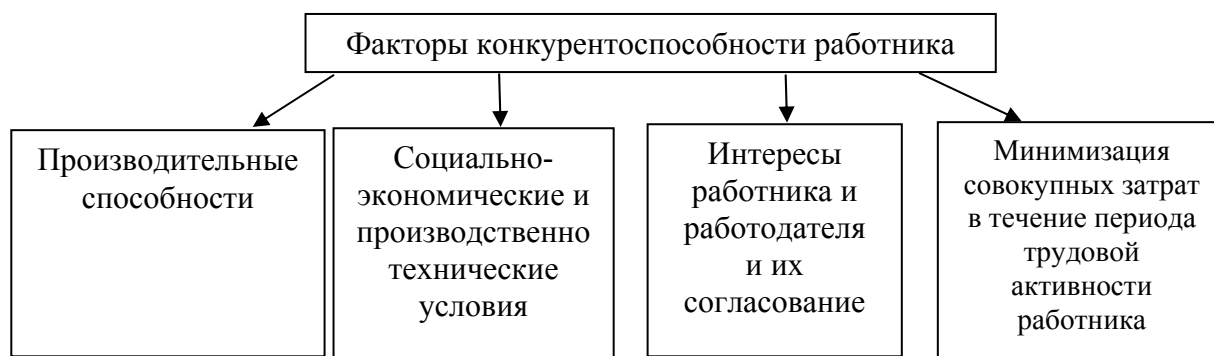


Схема 2. Факторы, определяющие конкурентоспособность на рынке труда (сост. авт.)

Система показателей конкурентоспособности работника включает (рисунок):

– базовые показатели, определяющие потенциальную и фактическую эффективность труда, т.е. показатели, связанные с социально-демографическими, психофизиологическими и мотивационными особенностями рабочей силы, а также определяющие уровень и содержание знаний, умений, навыков, полномочий работника;

– частные показатели, отражающие желания и предпочтения работодателей в рабочей силе и качестве труда, т.е. показатели, характеризующиеся мерой рыночной востребованности, качественно определенной способности к труду, а также обусловленные возможностями обеспечения доходности труда, восприятия новой информации, приращения профессиональных знаний, самоинвестирования в человеческий капитал, потенциалом коммуникативных связей в определенном виде деятельности;

– соответствие объема и структуры человеческого капитала работника количеству и качеству выполняемого им труда устанавливается при обмене и использовании рабочей силы;

– инвестиции в человеческий капитал оказывают долгосрочное воздействие на производственно-коммерческий процесс, и их отдача распределяется на то время, пока работник занят выполнением целесообразной деятельности.



Рисунок. Система показателей конкурентоспособности работника

Теория человеческого капитала изучает процесс качественного совершенствования людских ресурсов, образуя один из центральных разделов современного анализа предложения труда. Под человеческим капиталом понимается воплощенный в человеке запас способностей, знаний, навыков и мотиваций. Его формирование, подобно накоплению физического или финансового капитала, требует отвлечения средств от текущего потребления ради получения дополнительных доходов в будущем.

К важнейшим видам человеческих инвестиций относят образование, подготовку на производстве, миграцию, информационный поиск, рождение и воспитание детей. Благодаря теории человеческого капитала вложения в человека стали рассматриваться как источник экономического роста, не менее важный, чем «обычные» капиталовложения. Т. Шульц, Э. Денисон,

Дж. Кендрик и др. произвели количественную оценку вклада образования в экономический рост. Было установлено, что на протяжении XX века накопление человеческого капитала опережало темпы накопления физического капитала. Идеи, заложенные в теории человеческого капитала, оказали серьезное воздействие на экономическую политику государства. Благодаря ей изменилось отношение общества к вложениям в человека. В них научились видеть инвестиции, обеспечивающие производственный, причем долговременный по своему характеру, эффект. Это обеспечило теоретическое обоснование для ускоренного развития системы образования и подготовки кадров во многих странах мира. Под влиянием теории человеческого капитала, в которой образованию отводится роль «великого уравнивателя», произошла определенная переориентация социальной политики. В частности, программы подготовки стали рассматриваться как эффективное орудие борьбы с бедностью, возможно, более предпочтительное, чем прямое перераспределение доходов. Важный вывод состоял в том, что общепринятые оценки экономического неравенства, основанные на измерении текущих, а не пожизненных доходов, являются преувеличенными.

Итак, конкурентоспособность на рынке труда характеризует свойство человеческого капитала, определяющее меру удовлетворения рыночной потребности в труде.

Уровень конкурентоспособности национальной экономики самым непосредственным образом предопределяется конкурентоспособностью предприятий отраслей народного хозяйства как базиса, формирующего конкурентные преимущества страны. В современных условиях целесообразно делать упор на стадию инвестиций с последующим переходом к их инновационной «наполненности». В создании конкурентного преимущества немаловажное значение будут иметь научные знания, образование и как факторы развития производства, и как факторы формирования инновационного потенциала.

В заключение следует отметить, что в аспекте результативности конкурентоспособность любого объекта означает способность выполнять свои функции с требуемым качеством и стоимостью в условиях конкурентного рынка, т.е. способность эффективно функционировать на рынке, во внешней среде.

Библиография

1. Важенин С.Т., Злоченко А.Р., Татаркин А.И. Конъюнктура конкурентоспособности региона // Регион: экономика и социология. – 2004. – № 3.
2. Генкин Б.М. Экономика и социология труда: учебник. – 7-е изд., доп. – М.: Норма, 2008.
3. Евсеев В.О. Конкурентоспособность человеческих ресурсов: монография. – М.: Информационно-внедренческий центр «Маркетинг», 2006.
4. Казанцев С.В. Потенциал экономики регионов России как основа их внутренней конкурентоспособности // Регион. – 2004. – № 1.
5. Капелюшников Р.И. Современные буржуазные концепции формирования рабочей силы: критический анализ. – М.: Наука, 1981.
6. Петров В.М. Человеческие потенциалы и их распределение: проблема измерений // Человеческий потенциал: опыт комплексного подхода / под ред. И.Т. Фролова. – М., 1998.
7. Портер М. Международная конкуренция. – М.: Международные отношения, 1993.
8. Сепик Д. Индикаторы конкурентоспособности регионов: европейский подход // Регион: экономика и социология. – 2005. – № 2.
9. Blaug, Mark. The empirical status of human capital theory: a slightly jaundiced survey. «Journal of Economic Literature». – 1976. – Vol. 14, № 3.
10. Kendrick, Jhon W. Formation and stocks of total capital. – N.Y., 1976 (рус. пер.: Кендрик, Джон. Совокупный капитал США и его формирование. – М.: Прогресс, 1978);
11. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.libertarium.ru.

**ФОРМИРОВАНИЕ КОНКУРЕНТНОЙ СТРАТЕГИИ РАЗВИТИЯ
РЕГИОНАЛЬНОГО АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА****А.Х. Шидов, С.А. Шидов**

В статье исследована проблема формирования конкурентной стратегии развития регионального агропромышленного комплекса. Разработан методический инструментарий стратегического управления конкурентным потенциалом предприятий, использование которого позволяет обосновать конкурентные преимущества агропромышленных предприятий и дать оценку состояния перспективам реализации экономического потенциала производственного комплекса. Исследованы факторы, определяющие конкурентную стратегию регионально-производственного комплекса. Проанализированы основные показатели социально-экономического развития КБР за 2003–2008 гг. Разработан алгоритм комплексной программы развития агропромышленного сектора экономики. Практическая значимость работы состоит в возможности использования предложенного механизма управления конкурентным потенциалом для повышения эффективности регионального производственного комплекса.

In article the problem of formation of competitive strategy of development of regional agriculture is investigated. The methodical toolkit of strategic management in competitive potential of the enterprises which use allows to prove competitive advantages of the agroenterprises is developed and to state an estimation of a condition and to prospects of realization of economic potential of an industrial complex. The factors defining competitive strategy of a regional industrial complex are investigated. The basic indicators of social and economic development KBR for 2003–2008 are analysed. The algorithm of the complex program of development of agroindustrial sector of economy is developed. The practical importance of work consists in possibility of use of the offered mechanism of management in competitive potential for increase of efficiency of a regional industrial complex.

Цель исследования – формирование стратегии повышения конкурентоспособности и разработка методов управления конкурентным потенциалом предприятий агропромышленного комплекса.

Были получены следующие результаты.

Агропромышленный комплекс занимает особое положение, не позволяющее в силу его специфики в полной мере и на равных участвовать в межотраслевой конкуренции. Относительно низкодоходное сельское хозяйство, зависящее от природных факторов и имеющее ярко выраженный сезонный, циклический характер производства, отсталое в технологическом отношении, не позволяет получать от вложенных в него капиталов достаточную отдачу и быть конкурентным в народнохозяйственном комплексе.

Обеспечение долгосрочной конкурентоспособности агропромышленных предприятий является одной из важнейших задач в современных условиях их функционирования. Современный этап развития регионального производственного комплекса характеризуется повышением конкуренции на продовольственном рынке, на который выходят новые глобальные игроки, в том числе западные компании, имеющие значительные преимущества, что приводит к значительному перераспределению рыночной власти. Вместе с тем агропромышленное производство в регионе имеет ряд существенных особенностей, которые ставят его в исключительно уязвимое положение в условиях рынка. К ним относятся: иммобильность производственного процесса, который не может динамично меняться в соответствии со складывающейся конъюнктурой рынка, медленная адаптация к рыночным условиям, подверженность негативному воздействию природно-климатических факторов. В этих условиях существенно возрастает потребность в формировании и использовании эффективной модели стратегического управления, имеющий устойчивый, но трансформируемый характер, адаптированный к реалиям российской

региональной экономики, учитывающей высокую степень изменчивости природно-климатической, внешней и внутренней среды. Таким образом, решение проблемы формирования и управления конкурентным статусом регионального производственного комплекса является одной из функций стратегического управления и важным моментом рассмотрения конкурентного потенциала отрасли как составляющей устойчивого развития экономики региона в долгосрочной перспективе.

Стратегическое управление позволяет агропромышленным предприятиям увеличить горизонт планирования, обеспечить эффективное управление конкурентными преимуществами и создать возможность своевременной ответной реакции на те изменения, которые происходят в его внешней и внутренней среде. В то же время проблема формирования стратегического управления конкурентными преимуществами агропромпредприятий остается пока недостаточно разработанной.

Кабардино-Балкарская Республика как один из субъектов Северо-Кавказского федерального округа насчитывает около 900 тыс. человек, относится к числу самых густонаселенных регионов, где плотность населения (72 чел. на квадратный километр) выше аналогичного показателя по РФ в 8,6 раза. Республика относится к малоземельным регионам Российской Федерации, отличается довольно высокой плотностью населения, в том числе и сельского. На душу населения в республике приходится около 0,4 га пашни и 0,8 га сельскохозяйственных угодий. Имеет свои особенности и расселение. Преобладают крупные села с численностью жителей от 2,5 до 13 тыс. человек. Сельская местность занимает более 70 % территории.

Реальный сектор экономики является основным звеном экономики региона, где формируются главные показатели уровня развития. Республика относится к аграрным регионам, где на долю сельскохозяйственной продукции приходится почти половина ВРП. Характеризуя экономику региона в целом, можно выделить следующие тенденции: спад промышленного производства, нарастание финансовой нестабильности, разрушение инвестиционной составляющей, старение производственных мощностей, низкий уровень использования имеющихся ресурсов, существенное снижение потребительских возможностей, кризис продовольственного самообеспечения, нарастание иностранной продовольственной интервенции и др. [1].

В этих условиях республика продолжает оставаться дотационным регионом, хотя дотационность КБР в течение последних лет имела тенденцию к снижению. Так, в 2005 году она составляла 65,0 %, в 2006 году – 56,9 %, в 2007 году – 57,8 %, в 2008 году – 55,3 %, в 2009 году – 55,2 %, прогнозируемая оценка дотационности в 2010 году составляет 45,9 %. Удельный вес убыточных предприятий в реальном секторе экономики составляет соответственно 59,4 %, 55,6 %, 53,5 %, 36,0 %, 33,3 %. На протяжении последних лет это приводило к отрицательному сальдированному результату экономики КБР (табл. 1), в том числе все основные отрасли сельского хозяйства были убыточны или неэффективны (табл. 2).

Одними из основных причин спада производства аграрной продукции стали вывод земель из сельскохозяйственного оборота и сокращение посевных площадей под основными видами сельхозкультур во всех категориях хозяйств республики, в частности, зерновыми, кормовыми, овощебахчевыми.

Пищевая промышленность как ближайшее к сельскому хозяйству звено в продуктовых подкомплексах концентрирует в себе все негативные эффекты переходной экономики. Вследствие этого технический уровень производства на предприятиях пищевой промышленности республики не отвечает современным требованиям. Весьма существенным тормозом в интенсивном развитии перерабатывающей отрасли является отсутствие сбалансированных экономических отношений между производителями сырья, перерабатывающими предприятиями и организациями торговли [2].

Таблица 1

Основные социально-экономические показатели КБР*

Показатели	2003 г.	2004 г.	2005 г.	2006 г.	2007 г.	2008 г.
валовой региональный продукт, млн руб.	25997,4 28886,0	29052,9 32354,9	36833,4 41132,8	43309,7 46884,5	50385,2 56528,8	– –
основные фонды в экономике (по полной учетной стоимости; на конец года), млн руб.	79410,0	80069,0	85088,0	90672,0	105499,0	120959,0
продукция сельского хозяйства, млн руб.	13148,2	14842,2	14705,1	15775,5	16746,1	19458,5
численность населения (на конец года), тыс. чел.	898,8	896,9	894,0	891,3	891,4	892,4
численность трудоспособного населения, тыс. чел.	555,8	562,2	567,7	572,5	574,3	576,9
среднегодовая численность занятых в экономике, тыс. чел.	315,7	316,1	310,6	309,7	312,2	311,2
общая численность безработных по методологии МОТ (в среднем за год), тыс. чел.	89,4	99,0	91,6	91,6	74,9	74,3
численность населения с денежными доходами ниже прожиточного минимума, тыс. человек;	287,1 31,9	237,9 26,5	221,2 24,7	198,2 22,2	162,9 18,3	137,9
среднегодовые денежные доходы населения в месяц, руб.	2571,4	3159,9	4061,5	5080,1	6643,1	8839,1
сальдированный финансовый результат (прибыль минус убыток) в экономике, млн руб.	–774,3	–909,9	–1244,8	–384,4	408,3	–390,2

* Таблица составлена авторами по данным ТО ФСГС по КБР, сб. «КБР в цифрах», 2009 г.

Производственные и технологические мощности пищевой и перерабатывающей промышленности из-за отсутствия достаточного количества сырья и финансовых средств используются на 20–30 % (табл. 3).

Аналогичная картина сложилась на микроуровне, то есть на агропромпредприятиях и в отношениях между ними. Так, большинство предприятий регионального производственного комплекса сегодня или стоят, или функционируют не на полную мощность. Из-за этого нарушены процессы производства, реализации продукции и процессы воспроизводства. Это делает необходимым проведение исследований, связанных с трансформацией подходов к формированию конкурентной системы стратегического управления в аграрном секторе экономики [3].

Таблица 2

Рентабельность продукции, реализованной сельскохозяйственными организациями (в процентах)*

Наименование отраслей	2003 г.	2004 г.	2005 г.	2006 г.	2007 г.	2008 г.
сельское хозяйство, в том числе:	-15,3	-5,5	-5,7	-3,2	-2,7	-4,9
зерно (вкл. кукурузу)	-4,3	4,6	-4,0	5,6	22,8	29,9
сахарная свекла	-37,9	-48,6	—	—	—	—
семена подсолнечника	0,2	7,9	17,6	-9,5	26,2	7,9
картофель	-11,0	-20,9	9,7	-17,0	3,3	36,0
овощи	-32,4	-17,7	11,1	6,9	8,2	34,3
молоко и молочные	-28,1	-19,2	-0,8	0,3	11,9	17,6
КРС	-51,9	-48,5	-32,3	-21,0	-18,9	-23,4
овцы и козы	-41,8	-30,0	-12,6	-35,9	-36,6	-36,6
птица	-1,1	0,2	2,1	-10,5	-10,8	-4,6
яйца	26,9	1,0	22,6	8,6	42,6	79,8
шерсть	-73,5	-65,1	-83,5	-84,7	-69,6	-34,7

* Таблица составлена автором по данным ТО ФСГС по КБР, сб. «КБР в цифрах», 2009 г., данные приведены по крупным и средним с/х организациям на основании ведомственной отчетности МСХиП КБР.

Развитие стратегического экономического мышления, стратегического восприятия экономики в целом и определение места в ней каждого конкретного предприятия связаны с формированием и реализацией факторов экономического роста, что особенно актуально для регионального производственного комплекса.

В решении обозначенной задачи большую роль играют эффективный менеджмент и маркетинг. Агропромышленный маркетинг как самостоятельное направление теории современного маркетинга предполагает изучение, прогнозирование и осуществление предпринимательской деятельности хозяйствующих субъектов рынка в области производства, переработки, хранения, транспортировки и реализации сельскохозяйственной продукции с целью извлечения максимальной прибыли. Эффективное управление производством в условиях неустойчивой конъюнктуры аграрного рынка предполагает организацию специализированной маркетинговой службы на предприятиях регионального производственного комплекса, что будет обеспечивать:

- формирование единой информационной системы анализа и прогнозирования развития отрасли;
- создание условий для развития регионального продовольственного рынка и повышения эффективности его функционирования;
- разработку единой экономической и технологической политики развития регионального производственного комплекса с целью координации работы всех элементов рыночной инфраструктуры республики;
- создание благоприятного экономического и инвестиционного климата в регионе для привлечения новых средств из других регионов и государств;

– регулирование закупочных цен на сырье, поставляемое сельскохозяйственными товаропроизводителями предприятиям перерабатывающей промышленности, занимающим доминирующее положение на местном рынке.

Эффективная организация мониторинга производственно-экономической деятельности предприятий является актуальной задачей в области управленческого и экономического анализа, особенно в региональных АПК, когда институт мониторинга агропредприятий находится на стадии зарождения.

Таблица 3

Уровень использования среднегодовой мощности предприятий по выпуску отдельных видов агропромышленной продукции (%)*

Показатели	2003 г.	2004 г.	2005 г.	2006 г.	2007 г.	2008 г.
Масло растительное	38,2	38,7	7,4	4,4	3,2	2,3
Консервы	95,3	96,3	65,0	64,3	41,4	21,5
Хлеб и хлебобулочные изделия	55,2	55,8	28,1	15,0	34,2	19,7
Макаронные	55,7	27,5	33,6	46,6	12,5	1,0
Мясо	51,8	–	–	–	–	–
Цельномолочные продукты (в пересчете на молоко)	6,4	3,2	4,2	1,6	0,9	–
Мука	23,1		17,4	2,2	–	–
Кондитерские изделия	74,4	70,7	38,6	43,0	24,4	8,5

* Таблица составлена автором по данным ТО ФСТС по КБР, сб. «КБР в цифрах», 2009 г.

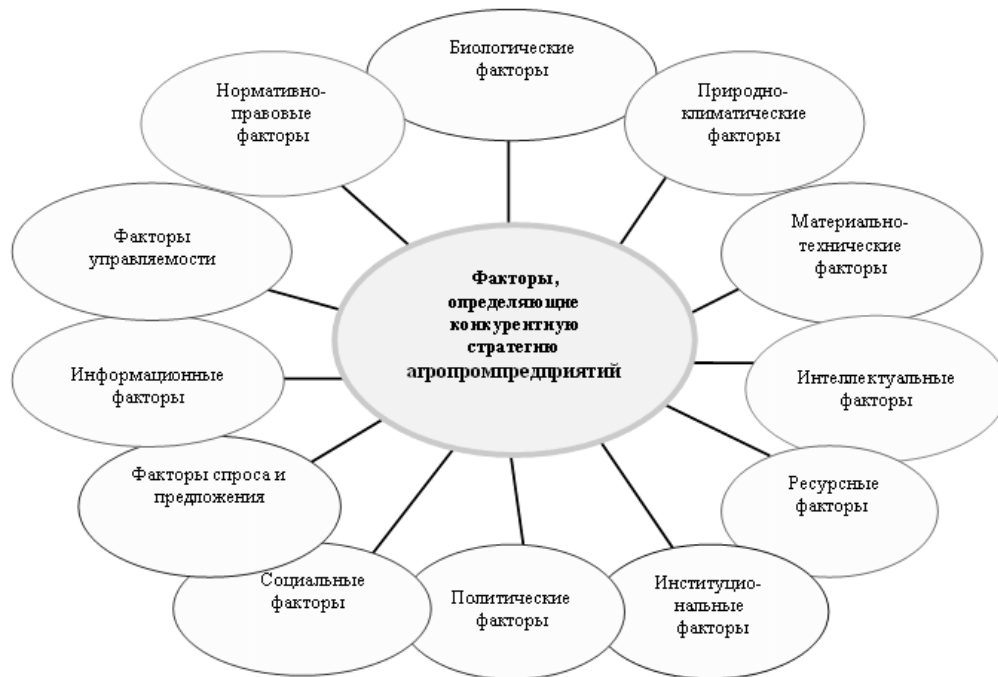
Обзор литературы в целом и наши исследования в частности показывают, что затруднения практической реализации стратегического управления связаны с отсутствием конкретных представлений о методах разработки стратегии при наличии общей методики. В отечественных исследованиях подчеркивается, что практических руководителей, лиц, принимающих решения, интересуют именно конкретные способы достижения целей, имеют ли последние краткосрочный либо долгосрочный характер. В этом отношении авторами признается существование разрыва между так называемым «социальным заказом» и возможностями теории стратегического менеджмента [4].

По нашему мнению, для глубинного понимания такого рода деятельности, как формирование конкурентной стратегии, следует иметь представления об алгоритмах принятия стратегических решений.

Применение методики системного анализа к формированию конкурентной стратегии позволило нам определить типологию факторов, воздействующих на основные сферы агропромышленного комплекса. Факторы можно сгруппировать исходя из следующих критериев:

- по направленности воздействия (внешний – макроэкономический, внутренний – внутриотраслевой, внутрихозяйственный);
- по времени воздействия (краткосрочный, среднесрочный, долгосрочный и постоянный);
- по степени воздействия (экстремальный, демотивационный, мотивационный);
- по характеру возникновения (спонтанный, спрогнозированный, плановый);
- по сфере действия (экономический, технико-технологический, организационный, социальный, экологический, политический);
- по степени управляемости (управляемый, частично управляемый и неуправляемый).

Предложенная типология позволяет нам выявить факторы, определяющие конкурентную стратегию (рис. 1).



регионального производственного комплекса

Конкурентоспособность – весьма специфическая экономическая категория, которая однозначно не может быть определена в отношении различных объектов. В методологическом анализе конкурентоспособности территории рассматривают такие понятия, как факторы конкурентоспособности, конкурентные преимущества, источники конкурентоспособности, уровни конкурентоспособности, степень конкурентоспособности, потенциал конкурентоспособности и ряд других. Нередко некоторые из них используются как синонимы или идентифицируются как схожие категории. Во многих случаях это вполне логично, но иногда видимая равнозначность категорий скрывает различную сущность явления (процесса, ситуации, системы).

Проведенное научное обобщение различных позиций по этим вопросам позволяет сделать вывод, что только взаимозависимость и взаимодополняемость факторов конкурентоспособности позволяют обеспечить в максимальной степени реализацию потенциала производственного комплекса.

В экономической литературе при рассмотрении совокупного действия факторов конкурентоспособности исследователи, как правило, концентрируются именно на их положительной корреляции. Однако, с нашей точки зрения, следует обозначить и оппозиции, присутствующие (либо возникающие) в системе факторов конкурентоспособности территории. Оппозиция факторов означает, по нашему мнению, их разнонаправленные по направлению и результативности действия.

Оппозиционные факторы, принципиально не реализуемые на данной территории, в силу отсутствия адекватных условий или сопутствующих факторов могут выводиться за пределы территории, становясь факторами роста конкурентоспособности других локальных территорий. То есть оппозиционный характер факторов не означает снижения уровня конкурентоспособности и свидетельствует лишь о временной балансировке взаимосвязей между факторами.

Отрицательная динамика экономического развития, наблюдаемая в ряде секторов региональной экономики, особенно в АПК, ставшая следствием многих негативных факторов, в том

числе мирового финансового кризиса, наиболее явным образом прослеживается в экономическом пространстве многих регионов СКФО. Согласно теории Портера, кризисные явления – застой и спад – возникают на четвертом уровне конкуренции – конкуренции на основе созданного богатства. Однако практика муниципального хозяйствования в Российской Федерации, а особенно в регионах СКФО, свидетельствует о том, что многие регионы попали в «волну» кризиса, еще не достигнув второй (стадии агрессивного инвестирования, по Портеру) и тем более третьей стадии (конкуренции на основе нововведений, по Портеру).

В связи с этим сегодня наиболее важным вопросом является максимально эффективное использование потенциала первой стадии (конкуренция на основе факторов производства) путем оптимального сочетания исходных факторов (природно-ресурсных, трудовых, инфраструктурных и т.д.) и создания явно необходимых (управленческо-институциональных факторов) в рамках локальной территории региона и сегментов его экономики. Составным элементом конкурентоспособности экономики республик СКФО является конкурентоспособность регионального производственного комплекса, способного обеспечить устойчивость позиций региона на внутренних и внешних продовольственных рынках в долгосрочной перспективе. В этих условиях именно конкуренция на основе факторов производства является основным рычагом экономического роста, где особая роль отводится формированию конкурентной стратегии развития предприятия, при этом управление конкурентоспособностью агропромпредприятия должно основываться на проактивном подходе к стратегическому управлению. То есть предприятия регионального производственного комплекса должны играть активную роль во взаимодействии с внешней и внутренней средой. Для этого предприятиям необходимо проводить мониторинг стратегии управления конкурентоспособностью в оперативном, текущем и перспективном режиме. Повышение конкурентного потенциала агропромпредприятия должно базироваться на основе управления стратегическими активами, ресурсами и компетенциями предприятия. Классическое представление о стратегических активах гласит, что это ресурсы, превосходящие по своим параметрам аналогичные ресурсы конкурентов. Стратегические компетенции традиционно рассматриваются как особо значимые для бизнес-единицы определенные направления деятельности, в которых она наиболее сильна. Наличие стратегических активов и компетенций обеспечивает предприятию устойчивое конкурентное преимущество, которое, в свою очередь, характеризуется значимостью и долгосрочностью. Устойчивые конкурентные преимущества основываются на использовании сильных сторон организации или слабых сторон конкурентов, либо на их нейтрализации. Существует достаточно большое количество теоретических подходов к оценке конкурентоспособности предприятия. В работе такую оценку предлагается производить на основе конкурентного потенциала. Нами предлагается в конкурентный потенциал агропромпредприятия включать семь составляющих элементов: финансовый, процессовый, трудовой, управленческий, инновационно-инвестиционный, биологический и природно-климатический. Каждую составляющую конкурентного потенциала предлагается оценивать на основе отобранных показателей с учетом весовых коэффициентов, задаваемых экспертным путем. Методика расчета конкурентного потенциала представлена формулой, где коэффициент конкурентного потенциала предлагается определить следующим алгоритмом:

$$КП = ФП + ПБП + ПТ + ПУК + ПИ + БП + ПКП,$$

где КП – конкурентный потенциал, ФП – финансовый потенциал, БПП – потенциал бизнес-процессов, ТП – трудовой потенциал, УП – управленческий потенциал, ИП – инновационно-инвестиционный потенциал, БП – биологический потенциал, ПКП – природно-климатический потенциал.

При расчете данного показателя оценку потенциала предлагается дополнить индексами его использования. Для этого введены три вида оценки конкурентного потенциала:

- возможный конкурентный потенциал (КПв); возможный потенциал отражает создание максимальных устойчивых конкурентных преимуществ предприятия;
- планируемый конкурентный потенциал (КПп); планируемый потенциал отражает запланированный уровень конкурентного потенциала;
- фактический конкурентный потенциал (КПф); фактический потенциал отражает текущий уровень создания и использования устойчивых конкурентных преимуществ предприятия.

Индексы использования конкурентного потенциала определены следующим образом:

Индекс фактического использования потенциала ($I_{фн}$):

$$I_{фн} = КП_{ф}/КП_{в}.$$

Индекс фактического достижения поставленных целей ($I_{ц}$):

$$I_{ц} = КП_{ф}/КП_{п}.$$

Индекс эффективности постановки целей ($I_{п}$):

$$I_{п} = КП_{п}/КП_{в}.$$

Одной из ключевых стратегий развития отрасли, обеспечивающей устойчивые конкурентные преимущества, должна стать пищевая стратегия.

Управление устойчивыми конкурентными преимуществами сельхозпроизводителями должно быть связано именно с продуктовой составляющей рациона питания, крупные агропромпредприятия должны ориентироваться прежде всего на первый сегмент социально значимых продуктов питания. В данном сегменте у крупных предприятий имеются неоспоримые конкурентные преимущества. К их числу можно отнести:

- крупные агрокомплексы, обеспечивающие инновационный прорыв в аграрном секторе, повышающие возможности в проведении современной селекции и генетики;
- крупные агропромпредприятия, обеспечивающие высокое качество продукции при более низких затратах на единицу продукции;
- крупные агропромпредприятия, обеспечивающие выполнение крупных заказов на производство сельхозпродукции как внутри, так и за пределами региона.

Сегмент социально значимых продуктов питания должен регулироваться государством. Так, в настоящее время государством регулируется уровень цен по продуктам переработки в данном сегменте. Однако, по мнению авторов, таких мер недостаточно. Повышение цен на зерно, муку, свеклу при условии постоянства цен на хлеб, сахар может привести к возникновению убытков у сельхозпредприятий переработки. Поэтому государству необходимо гармонизировать систему ценообразования на продукты первой необходимости с целью сбалансированного соблюдения интересов всех групп производителей и переработчиков в данной цепочке [5].

Для реализации такого курса региональные и местные органы власти должны обеспечить стабильность производства социально значимых продуктов питания. При сохранении сложившейся структуры аграрного сектора экономики предпосылки для решения вышеобозначенных задач минимальны. Необходимо определить приоритеты развития данной отрасли для концентрации усилий государства и общества по эффективному использованию ресурсов, чтобы в долгосрочной перспективе поднять до приемлемого уровня конкурентоспособность регионального производственного комплекса и его востребованность для обеспечения достойного качества сельхозпродукции. Для реализации этих целей разработан алгоритм комплексной программы развития отрасли, обеспечивающий механизм регулирования производства и переработки конкурентной качественной сельхозпродукции (рис. 2).

Одним из самых перспективных сегментов рынка сельхозпродукции и ее переработки является продовольственный рынок крупных торговых сетей. В настоящее время многие торговые сети создают собственные производства по переработке сельхозпродукции, реализуемой в своих торговых точках.

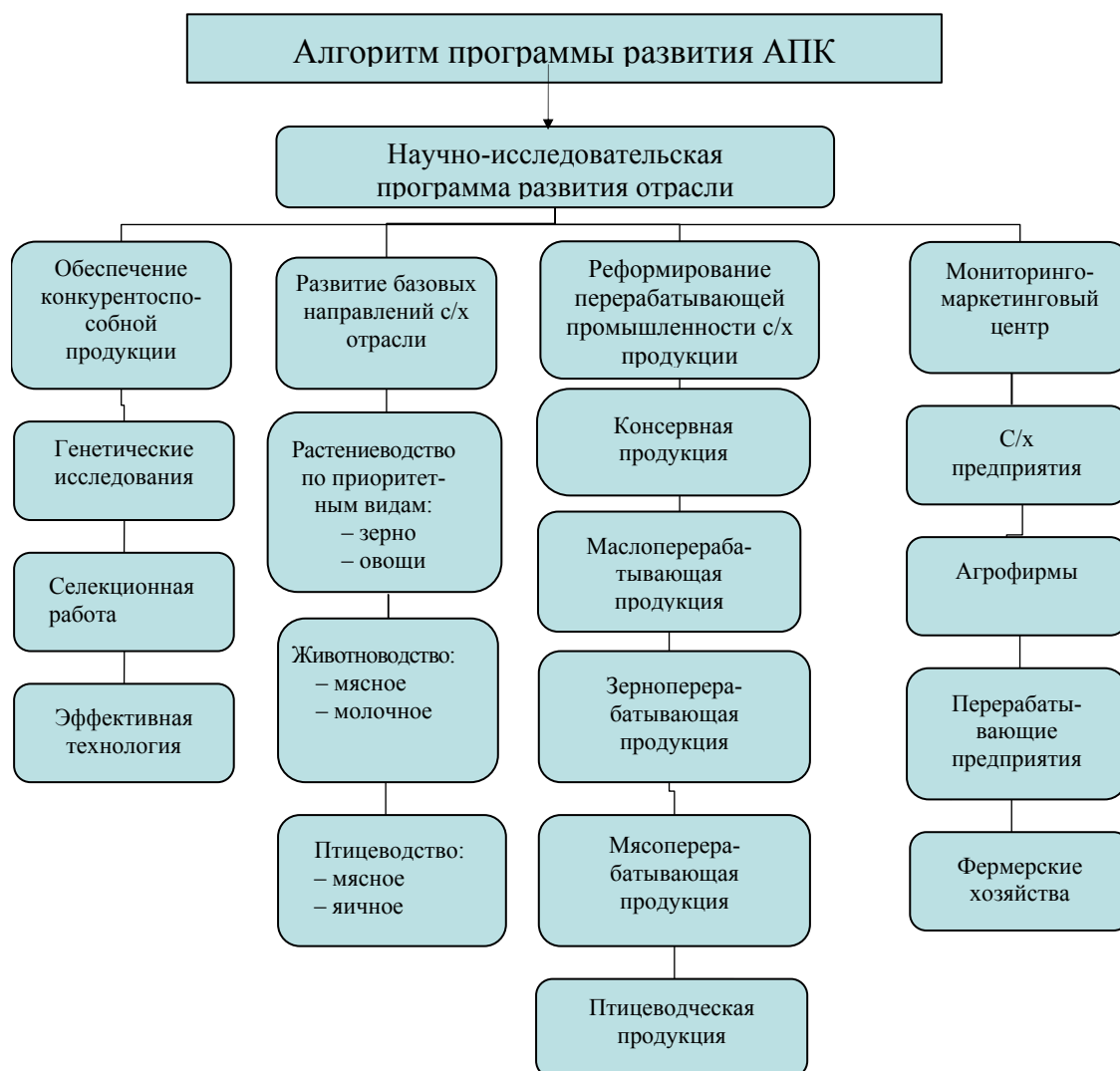


Рис. 2. Алгоритм комплексной программы развития отрасли

В условиях системного кризиса аграрной сферы наиболее приемлемой является жесткая форма интеграции. Ее реализация на практике может происходить разными путями, наиболее эффективными из которых выступают следующие:

- создание интегрированных формирований на базе предприятий – лидеров отрасли;
- объединение потенциальных банкротов с привлечением внешнего инвестора, т.е. уже существующих агрохолдингов.

Эти модели интеграции обеспечивают создание вертикальной системы: производство – заготовка – переработка – торговля, а значит, создают условия для достижения главной цели развития сельского хозяйства, а именно – обеспечения устойчивости функционирования входящих в их состав агропромпредприятий.

Для предприятий, имеющих высокий уровень использования конкурентного потенциала, наиболее адекватной будет стратегия экономии на издержках на основе максимально полного использования эффекта масштаба производства.

По сути, речь идет о стратегии концентрации и специализации в сегменте товарных продовольственных продуктов переработки. Для предприятий, имеющих средний уровень использования конкурентного потенциала, целесообразно использовать стратегию интеграции: производство, переработку и реализацию выпускаемых полуфабрикатов с доводкой в торговых точках. В данном случае предприятия имеют возможность занять относительно свободную в на-

стоящее время нишу рынка и создать на ней долгосрочные конкурентные преимущества. Предприятия с низким уровнем использования конкурентного потенциала должны ориентироваться на стратегию дифференциации, проникать на рынки скоропортящихся продуктов питания и т.д.

При этом неинтегрированные предприятия конкуренции в данном сегменте не выдерживают. Использование положительных сторон такой модели продовольственного рынка применительно к региональным условиям позволяет наметить два направления конкурентного развития агропромпредприятий:

- интеграция сельхозпроизводителей и переработчиков в различных формах на макро- и микроуровнях;

- участие крупных торговых сетей в производстве и переработке сельхозпродукции.

В рамках первого направления существуют три основополагающих мотива внедрения стратегий интеграции в агропромышленной сфере:

а) экономия на масштабе производства – технико-технологическая экономия, получаемая в результате концентрации объемов производства, которая позволяет расширить пределы оптимального использования техники и оборудования. Чем более рассредоточенно действуют на аграрном рынке сельскохозяйственные товаропроизводители (при условии мелкотоварного производства), тем им труднее реализовать свои интересы в смысле расширения масштабов деятельности. В условиях неопределенности сбыта преимущества остаются за крупным товарным производством, способным предложить больший объем продукции при более низких затратах. Это явление именуется рыночным эффектом масштаба. Он реализуется в том случае, когда товаропроизводители консолидируют свои действия на стадии сбыта посредством организации интегрированных структур. Поэтому крупные структуры, образованные на принципах вертикальной интеграции, имеют большие преимущества по сравнению с мелкотоварной формой организации производства в производственной, кредитной и сбытовой среде;

б) экономия в масштабе сферы деятельности, то есть экономия на разнообразии производимой продукции и рынков сбыта. Механизм реализации этого вида экономии связан с осуществлением диверсификации деятельности, а результатом является многопрофильность, то есть эффект широты ассортимента. Наибольший позитивный эффект от диверсификации достигается именно в сельском хозяйстве, так как есть возможность нивелировать высокую степень рисков из-за влияния природных факторов;

в) экономия на транзакционных издержках, подразумевающая, что все интегрированные формирования ставят перед собой цель по снижению этих издержек, вызываемых рисками, недобросовестностью партнеров, искажением рыночной информации. Интеграция на микроэкономическом уровне – это установление прямых экономических связей, развитие кооперации, создание интегрированных формирований, осуществление совместных инвестиционных проектов. Между двумя уровнями интеграционного процесса должно быть единство, которое достигается при функционировании рыночного механизма в сочетании с регулирующей ролью государства.

В рамках же второго направления перспективной является поставка торговым сетям полуфабрикатов для участия торговых сетей в конечном цикле по скоропортящимся продуктам.

Интеграция агропромпредприятий и крупных торговых сетей позволит получить устойчивое конкурентное преимущество, связанное с увеличением масштабов производства, переработки и продажи, захватом новых рынков. Интеграция агропромпредприятий по такой цепочке позволит им улучшить свои конкурентные преимущества за счет повышения экономического потенциала. При этом могут быть повышены все составляющие элементы конкурентного потенциала агропромышленного комплекса.

На современном этапе основными приоритетами экономической политики на уровне регионального производственного комплекса должны стать новые прогрессивные технологии, а инновация становится основным фактором повышения экономического потенциала и увеличения конкурентоспособности.

Вместе с тем в научно-технической сфере регионального производственного комплекса республики отмечаются недостаточная активность, инертность, отсутствие должного состояния предпринимательства и государственной поддержки основополагающих прикладных исследований, направленных на рациональное использование многофакторного агроклиматического и производственного потенциала регионального производственного комплекса республики. Инновационная деятельность еще не приобрела черты рыночной экономики и не отвечает потребностям сельских товаропроизводителей в обеспечении их достаточной информацией и услугами. Многие из этих проблем связаны с низкой инновационной активностью участников аграрного производства и отсутствием соответствующих механизмов их регулирования.

По данным Территориального органа ФСГС по КБР, из 134 обследованных предприятий и организаций лишь 7 (5,2 %) имели в течение последних трех лет завершенные инновации, т.е. новые или значительно усовершенствованные продукты, услуги или производственные процессы, внедренные на рынке. Сам по себе показатель инновационного потенциала демонстрирует низкий уровень развития экономики. Ограниченные ресурсы инновационного потенциала не могут обеспечить положительный эффект во всех направлениях экономического развития. Поэтому предлагается провести эффективную оценку формирования инвестиционной политики в условиях повышения социально-экономического потенциала региона.

Применяя нововведения, субъекты хозяйствования могут производить новую или улучшенную продукцию, снизить издержки производства, что обеспечит им конкурентные преимущества на рынке и получение дополнительной прибыли.

В результате проведенного исследования получены следующие выводы и сформированы предложения.

Складывающаяся в АПК региона ситуация предопределяет целесообразность выработки и реализации адаптивных, учитывающих специфику подходов и мер по развитию аграрной отрасли, актуализирует формирование адекватного организационно-экономического механизма как единства системы рыночных инструментов (конкуренция, развитие финансово-кредитной сферы и др.) и государственного стимулирования (ресурсно-инвестиционное, информационное, консалтинговое обеспечение, предоставление гарантий, лизинговые и страховые схемы и др.), а также собственно рыночной активности бизнес-структур.

Существенным фактором эффективного использования экономических и организационных методов управления в условиях рынка является маркетинг как основа функционирования аграрного рынка, формирования производственно-сбытовой деятельности агропромышленных предприятий с ориентацией на конечного потребителя. Маркетинг в аграрном производстве является базой формирования конкурентной стратегии.

Библиография

1. Казанчева Х.К. Проблемы социально-экономического развития региона в условиях рынка // Научная мысль Кавказа. – Ростов-на-Дону, 2003. – Приложение № 8.
2. Казанчева Х.К., Шевлоков В.З. Концепция устойчивого регионального развития и прогнозная модель социально-экономического развития аграрно-промышленного региона // Международный сельскохозяйственный журнал. – М., 2008. – № 5.
3. Шидов С.А. Совершенствование системы управления предпринимательских структур в хозяйственном комплексе // Экономика территорий. – Ростов-на-Дону: Южный Федеральный Университет, 2009. – № 2.
4. Шидов С.А., Джанаева З.А. Инвестиционный климат в КБР // Известия КБНЦ РАН. – 2009. – № 1 (27).
5. Шидов С.А., Кудяева А.А. Повышение конкурентоспособности предприятий на региональном уровне // Научный журнал «Молодой ученый». – Чита, 2009.

ЮРИСПРУДЕНЦИЯ

УДК 321

О КОНФЕДЕРАТИВНОМ ХАРАКТЕРЕ ГОСУДАРСТВЕННЫХ ОБЪЕДИНЕНИЙ

М.Х. Гукешоков

Статья посвящена исследованию проблем конфедеративных отношений государств, государственных объединений. Конфедеративные отношения государств носят временный, переходный характер и характеризуются как объединение независимых государств.

Article is devoted research of problems of confederative relations of the states, the state associations. Confederative relations of the states have temporary, transitive character and is characterised as association of the independent states.

В науке при определении форм территориального устройства государства среди «традиционных» сложных форм называют федерацию и конфедерацию. Если форма федерации получила глубокую научную разработку [1], то форма конфедерации исследована не столь широко, и потому требует большего внимания теории.

Особую актуальность данная тема исследования приобретает в современных условиях, когда между Россией и Белоруссией фактически сложились конфедеративные отношения. Также важным аспектом является анализ временного, переходного характера конфедеративных отношений государств.

Этимология слов «федерация» и «конфедерация» сходна. Данные понятия сходны не только внешне, но также и по содержанию, ибо оба выражают форму договорного политического (государственного) союза. Вместе с тем, разница между ними существенна.

Конфедерация, иначе говоря – над- или сверхфедерация, означает нечто, выходящее за пределы государственности, хотя и небезразличное для внутреннего государственного устройства [2].

Именно отсутствие единого территориального суверенитета позволяет отличить конфедерацию как союз государств от федеративного государства [3].

В связи с этим необходимо отметить, что весьма спорным остается вопрос о том, является ли конфедерация формой государственного устройства.

В частности, А.В. Бутаков определяет конфедерацию как форму государственного устройства, называя в качестве характеризующего признака (среди прочих) наличие у каждого субъекта такого объединения непосредственного представительства [4]. Вместе с тем, он пишет, что «конфедеративная структура осуществляет вспомогательную функцию по отношению к организационным структурам государств – субъектов конфедерации; конфедеративная структура имеет как бы вторичный, настроечный характер по отношению к государственной структуре; проявляется прежде всего, в приоритете непосредственных форм деятельности данного образования: в императивном мандате действия вновь созданной структуры; в рекомендательном принципе исполнения принимаемых решений, общеобязательность которых возможна лишь при их ратификации каждым государством – субъектом конфедерации» [5]. С.Н. Бабурин не соглашается с попыткой А.В. Бутакова представить конфедерацию как одну из форм государственного устройства и считает, что можно обоснованно относить современные конфедера-

ции к надгосударственным объединениям, условно отделяя их от межгосударственных объединений [6].

М.Л. Костенко и Н.В. Лавренева полагают, что конфедерация представляет собой не форму государственного устройства, поскольку речь идет не об одном, а о нескольких суверенных государствах, созданных международным договором для достижения определенных целей союза (объединения) государств [7]. Далее они подчеркивают, что, сравнивая эти две структуры (федерацию и конфедерацию), следует в первую очередь подчеркнуть, что отношения в рамках федерации регулируются внутренним государственным правом, тогда как в рамках конфедерации – международным правом.

«Важно заметить, – отмечает К.В. Арановский, – что межгосударственные отношения составляют объект межгосударственного права. Но такие союзы, как конфедерация, уния, протекторат определяют не только внешнеполитические положения их участников, но и некоторые стороны национальной государственности. Поэтому конфедеративные и подобные им отношения непосредственно связаны с государственным правом» [8].

«Наряду с политико-территориальными образованиями, структура и органы которых регулируются конституционным правом, – пишет В.Е. Чиркин, – есть и такие, которые созданы на основе международных соглашений и регулируются в основном нормами международного права, но с элементами конституционного-правового регулирования. Традиционным образованием такого рода является конфедерация» [9].

Как видим, позиции К.В. Арановского и В.Е. Чиркина по данной проблеме фактически сходны и представляются правильными и обоснованными, дающими основания характеризовать конфедерацию как одну из форм территориального устройства государства. Следует также подчеркнуть, что большинство российских ученых-государствоведов относят конфедерацию к государственным формам, что нашло отражение не только в научной, но и в учебной литературе.

Раскрывая понятие конфедерации, можно выделить характеризующие ее в совокупности признаки.

Во-первых, конфедерация – это союз (объединение) государств, сохраняющих свой суверенитет. Союз добровольный, равноправный.

Во-вторых, субъекты строят конфедеративные отношения для решения ряда общих дел, частично отказываясь при этом от самостоятельного решения ряда внутренних и внешних функций (оборона, финансовая (денежная) политика, таможенные вопросы, совместное участие в работе международных организаций, согласованная внешняя политика и др.).

В-третьих, для осуществления соответствующих функций субъекты конфедераций создают надгосударственные органы (совет глав государств, межпарламентская ассамблея и др.).

В-четвертых, конфедерация и ее органы могут принимать решения по вопросам, обозначенным в союзном договоре, которые вступают в силу без парафирования и ратификации.

В-пятых, субъект конфедерации имеет право выхода (сецессии), право исполнения или неисполнения решений надгосударственных органов, право на свободный выбор форм сотрудничества, что обуславливает временный переходный характер таких отношений.

На данной основе конфедерацию можно определить как добровольный, равноправный союз (объединение) суверенных (независимых) государств, объединившихся для решения общих дел (оборона, денежная политика, таможня и др.), осуществляемых надгосударственными органами, принимающими решения в силу союзного договора, носящий временный, переходный характер.

История знает немало примеров конфедеративных отношений. Примерами конфедерации могут служить США с 1781 по 1787 гг.; Швейцария с 1815 по 1848 гг.; Германская конфедерация, существовавшая с 1815 г. до создания Германской империи. Конфедерациями также являлись Гондурас, Никарагуа и Сан-Сальвадор; Объединенная Арабская республика, образованная Египтом и Сирией в 1958 г., которая распалась уже в 1961 г.; объединение Сенегала и Гамбии (Синегамбия), прекратившее свое существование в 1988 г.; в 1991 г. после распада Югославии,

при содействии мирового сообщества было заключено так называемое «Рамочное соглашение» о создании конфедерации между Боснией и Герцеговиной и Республикой Хорватией, и т.д.

Исторические примеры явно свидетельствуют о временном характере конфедеративных отношений.

Конфедеративные отношения возникают в силу ряда причин, предшествующих образованию конфедерации: распада единого государства на ряд мелких; различных войн (за независимость, гражданские); наличия общего врага и др.

Эти моменты обуславливают «слабость» государств на данном этапе их развития, невозможность в полной мере осуществить государственные функции, что направляет их действия на объединения усилий в решении тех или иных задач, которые на тот момент совпадают у государств, вступающих в конфедеративные отношения.

На этом основании конфедерацию можно назвать даже «вынужденной» формой объединения.

И в зависимости от степени укрепления государственности стран, входящих в союз, успешности решения поставленных задач и обозначенных целей сложившиеся отношения могут развиваться в диаметрально противоположном направлении. С одной стороны, конфедеративные отношения могут перерасти в федеральные и др., образуя единое государство (США, Швейцария), с другой стороны – конфедерации распадаются.

«Конфедерации, – отмечает К.В. Арановский, – имеют в целом заслуженную репутацию неустойчивых, кратковременных, переходных государственных объединений. Считается, что конфедерации либо предшествуют созданию федераций, объединению территорий под единой унитарной государственностью, либо завершаются их распадом» [10].

На основе обозначенных закономерностей весьма полезным был бы анализ динамики развития конфедеративных отношений на современном этапе. Существует мнение, что в настоящее время нельзя определенно утверждать о существовании какой-либо конфедерации, хотя рассматривают ряд признаков, дающих «повод расценивать межгосударственные объединительные тенденции в Европе и на территории бывшего СССР как конфедеративные по своей природе» [11].

«В настоящее время, – пишет В.Е. Чиркин, – по существу конфедерациями являются Республика Босния и Герцеговина и Союзное государство Белоруссии и России» [12]. Цели и задачи, сформулированные в Уставе (Союза России и Белоруссии – М.Г.), характер взаимоотношения сторон не оставляет сомнений в конфедеративном характере объединения», – отмечает Н.А. Михалева [13].

Поддерживая данную позицию, мы считаем, что на современном этапе Россия и Белоруссия, заключив договор о Союзе в апреле 1997 г., вступили в конфедеративные отношения, закрепив их принятием 23 мая 1997 г. Устава Союза Белоруссии и России.

А.В. Малько и В.В. Мамонов считают важным вопрос об определении формы государственного устройства союзного государства. Они отмечают, что «Союзное государство не является федерацией, так как базируется на принципах суверенного равенства государств-участников. Однако это уже более тесное объединение, чем конфедерация, поскольку существует единое гражданство, валюта, внешняя граница, органы управления, конституционный акт» [14]. В связи с этим отмечается необходимость юридического определения концепции федерации нового типа.

Стремительность и быстрота объединительных процессов между Белоруссией и Россией в создании единого государства ставят множество вопросов перед юридической наукой, ряд из которых обозначены выше.

Несомненным является то, что конфедеративные отношения России и Белоруссии на современном этапе развиваются в русле, направленном на образование единого государства. Подтверждение тому – заключение Договора о создании Союзного государства в декабре 1999 г.,

образование высших надгосударственных органов власти в январе 2000 г., разработка и обсуждение Конституционного Акта Союза в текущее время. И это весьма положительные факты.

Важной и интересной в связи с этим является динамика отношений: с какого именно момента конфедеративные отношения перерастут в, собственно, федеративные и по какой модели протекает объединение Российской Федерации и Республики Беларусь.

Предлагается несколько моделей объединения – это создание единого федеративного государства Белоруссии и России; вхождение Белоруссии и Россию в качестве ее субъекта; принятие шести областей Белоруссии в состав РФ как отдельных субъектов. Последние модели были озвучены В.В. Путиным, как возможные варианты интеграции [15]. Вместе с тем высказываются вполне аргументированные позиции по модели создания единого союза государств России и Белоруссии, объединяющихся как равноправные субъекты [16].

Модель будущего союзного государства – это предмет переговоров и соглашений сторон. Важен в этом плане сам объединительный процесс, что отвечает интересам и чаяниям наших народов.

Библиография

1. Умнова И.А. Конституционные основы современного российского федерализма – М., 1998; Чиркин В.Е. Современное федеративное государство. – М., 1997; Он же. Модели современного федерализма: сравнительный анализ // Государство и право. – 1994. – № 8/9; Он же. Государственная власть субъекта федерации // Государство и право. – 2000 – № 10; Он же. Пределы ведения Федерации и ее субъектов: разграничение, сотрудничество, субсидарность // Государство и право. – 2002. – № 5; Тадевосян Э.В. Российский федерализм и современный национально-государственный нигилизм // Государство и право. – 1996. – № 10; Он же. К вопросу о характере государственной власти Федерации // Государство и право. – 2002. – № 3; Он же. О моделировании в теории федерализма и проблемы асимметричных федераций // Государство и право. – 1997. – № 8; и др.
2. Арановский К.В. Государственное право зарубежных стран: учеб. пособие. – М., 1999. – С. 208.
3. Бабурин С.Н. Территория государства: правовые и геополитические проблемы. – М., 1997. – С. 53.
4. Будаков А.В. Нормативный структурализм и современное Российское государство: Методологическое исследование. – Омск, 1996 – С. 71.
5. Бутаков А.В. Указ. раб. – С. 70.
6. Бабурин С.Н. Указ. раб. – С. 54–55.
7. Костененко М.Л., Лавренева Н.В. ЕС после Маастрихта: федерация, конфедерация или межгосударственная организация // Государство и право. – 1994. – № 4. – С. 108.
8. Арановский В.К. Указ. раб. – С. 208.
9. Чиркин В.Е. Конституционное право зарубежных стран: учебник. – М., 2002. – С. 199.
10. Арановский К.В. Указ. раб. – С. 211.
11. См.: Арановский К.В. Указ. раб. – С. 211–212.
12. Чиркин В.Е. Конституционное право зарубежных стран. – С. 200.
13. Цит. по: Малько А.В., Мамонов В.В. Создание Союзного государства «Россия – Беларусь»: проблемы правовой политики // Правовая политика и правовая жизнь. – 2002. – № 2. – С. 13.
14. Малько Л.В. Мамонов В.В. Указ. соч. – С. 13.
15. См.: Российская газета. – 2002. – 28 ноября.
16. См. Малько А.В., Мамонов В.В. Указ. соч. – С. 10.

**ПРОБЛЕМА ИДЕНТИФИКАЦИИ ПРАВОВОГО СТАТУСА
КНЯЖЕСКО-ДВОРЯНСКИХ СОСЛОВИЙ КАБАРДЫ
ВО ВТОРОЙ ПОЛОВИНЕ XIX–нач. XX вв.**

М.В. Дышеков

Статья посвящена проблемам определения правового статуса княжеско-дворянских сословий Кабарды в рамках российского законодательства второй половины XIX–нач. XX веков.

Article is devoted problems of definition of a legal status of knjazhesko-nobility of Kabardy within the limits of the Russian legislation of second half XIX–the beginning of XX-th centuries.

Демократические преобразования, начатые в 90-х годах прошлого века в России, способствовали росту национального самосознания, повышению интереса к историческому опыту, актуализации многих вопросов, связанных с духовными истоками, политическими институтами и общественной мыслью народов России. Обобщение истории народа вообще и отдельных социальных групп населения в частности приобретает важную роль не только для познания содержания пройденного пути, но и для прогнозирования и моделирования перспектив развития. В этом плане изменения, происходившие в социальной структуре современного российского общества, имеют типологически сходные черты с процессами, проходившими в России в пореформенные годы. Аналогии выражаются как в отправных точках социального развития (либеральные реформы 60–70-х гг. XIX века и демократические реформы на современном этапе), так и в функциональной направленности преобразований, ориентированных на построение государства со свободными рыночными отношениями.

Интерес к историческому прошлому нашел реальное воплощение и на практике. Так, к примеру, в России потомками благородных фамилий было воссоздано Дворянское собрание. В Кабардино-Балкарии интерес к историческим корням выразился в организации родовых сходо- в, в опубликовании изысканий по истории локальных обществ, отдельных фамилий и, наконец, в создании в июне 1998 года Кабардино-Балкарского историко-родословного общества. Эти обстоятельства обусловили обращение к исследованию процесса трансформации княжеско-дворянских сословий в пореформенные годы, что представляется актуальным, имеющим научное и практическое значение.

Длительное время общественные отношения регулировались в кабардинском социуме посредством обычного права и шариата (мусульманское право). В обычном праве закреплялся статус традиционной элиты и регламентировались взаимоотношения социальных групп внутри элиты.

С включением Северо-Кавказского региона в общеимперское административно-правовое пространство встал вопрос о необходимости идентификации статуса традиционной элиты кабардинцев соответственно общероссийскому стандарту.

По своему статусу традиционная элита кабардинцев находила себя равной российскому дворянству. Еще в 1830 году кабардинские князья и дворяне, служившие в горском полуэскадроне, обратились к шефу жандармов Бенкендорфу с просьбой укрепить их в российском дворянстве. Однако тогда им в этом было отказано на том основании, что регион не находится в гражданском управлении и права российского дворянства не будут иметь никакой цены [1]. Тем не менее, проблема уже назрела, и игнорировать ее российское правительство не могло.

Со второй половины XIX века вопрос об идентификации традиционной элиты Кабарды принимает более четко очерченные формы. Этой проблемой занялся созданный в октябре 1861 года Комитет для разбора личных и поземельных прав туземцев. Позже, в 1863 году, во Владикавказе была открыта Временная комиссия для разбора личных и поземельных прав туземного

населения Терской области, которая продолжила исследование сословного вопроса. Окончательное, полное исследование сословных отношений кабардинцев провела уже Комиссия для разбора сословных прав горцев Кубанской и Терской областей, образованная в результате слияния нескольких комиссий.

Труды сословной комиссии были закончены в 1873 году. Они состояли из отдельных пояснительных записок, выписок из использованных источников, а заключение комиссии было изложено в ее представлениях. Комиссия установила, что почти среди всех народов Терской и Кубанской областей существуют сословия, возвышающиеся над свободным населением и пользующиеся особыми правами и преимуществами среди своих народов, а также некоторыми отличиями со стороны русского правительства.

Фактически существующие привилегии этих лиц комиссия признавала желательным и справедливым узаконить, утвердив их в русском потомственном дворянском достоинстве. Комиссия считала необходимым закрепить в этом достоинстве кабардинских «пши», «тлектелеш», «диженуго»; сословиям «беслан-уорк» и «уорк-шаутлугус» комиссия полагала возможным предоставить определенные права при поступлении на государственную службу.

Результаты исследований сословной комиссии были восприняты кавказской администрацией неоднозначно. Разделение мнений за и против выводов и предложений комиссии произошло уже на уровне начальников областей.

Если генерал-адъютант Лорис-Меликов, состоящий в должности начальника Терской области, вполне одобрил предложения комиссии (за исключением предоставления прав уоркам в сфере государственной службы), то начальник Кубанской области генерал-лейтенант Кармалин выступил категорически против выводов, сделанных комиссией.

Он полагал, что русская администрация ни в одном своем документе ни прямо, ни косвенно не признавала равенство между горскими князьями, узденями и российским дворянством. Все мероприятия российской власти на Северном Кавказе были направлены на то, «чтобы сгладить дикость и своеобразие понятий горцев, ознакомить их с жизнью цивилизованных народов и вселить в них истинное понятие о могуществе России». Преследуя эту цель, российская власть контактировала в основном с более влиятельными лицами, чтобы посредством этих лиц воздействовать на народ в целом, для чего необходимо было рекрутирование местной элиты.

На практике рекрутирование осуществлялось главным образом посредством привлечения на военную службу в российскую армию (в том числе и в императорский конвой). Поэтому, когда сословная комиссия указывала на то, что многие представители высших сословий народов Северного Кавказа фактически пользуются правами русского потомственного дворянства, Кармалин возражал доводам комиссии. Он указывал, что права эти приобретены ими по службе, за вознаграждение их заслуг, и путь этот открыт для каждого.

Тем не менее, высшая кавказская администрация поддержала позицию начальника Терской области Лорис-Меликова и направила в Министерство юстиции исправленный проект сословной комиссии.

Министр юстиции статс-секретарь Набоков, ознакомившись с материалами сословной комиссии, предоставил в Государственный совет свое заключение (1884 г.). Выводы, сделанные Набоковым, были диаметрально противоположны рекомендациям высшей кавказской администрации.

Принципиальное расхождение мнений министра юстиции и краевой администрации вынудило Государственный совет отправить заключение Набокова кавказскому начальству, ибо «согласно действующему закону, никакая новая мера, имеющая отношение к Кавказу, не может иметь применения иначе как по истребовании заключения краевой власти» [2]. Завязалась долгая переписка между высшей кавказской администрацией и Министерством юстиции.

Совет главноначальствующего гражданской частью на Кавказе в октябре 1887 года обсудил заключение министра юстиции Набокова и категорически возразил его доводам.

Совет настаивал на том, что государство обязано идентифицировать сословия народов Северного Кавказа в соответствии с сословиями и состояниями Российской империи. Предоставить же самим горцам найти это место, по мнению Совета, для правительства значило уклониться от прямой своей обязанности [3]. К тому же, возражая министру юстиции Набокову, Совет указывал на то, что без предварительного причисления членов высших горских сословий к одному из существующих в империи привилегированных сословий они были бы лишены возможности, по российскому законодательству, поступать на гражданскую службу и обучаться в кадетских корпусах. Поэтому Совет главноначальствующего считал необходимым в первую очередь идентифицировать права элиты.

15 мая 1895 года состоялось особое совещание Государственного Совета, на котором рассматривался вопрос о правах высших сословий в Кубанской и Терской областях. Мнения опять разделились.

Дело о сословных правах высших сословий Северного Кавказа вновь оказалось в Министерстве юстиции, где оно должно было быть пересмотрено с учетом недостатков предложенных проектов.

Очевидно, что позиция большинства членов Государственного совета по вопросу предоставления российского дворянства привилегированным сословиям народов Северного Кавказа была позитивной. Казалось, вопрос этот близок к своему разрешению, однако позиция кубанского и терского начальства явно противоречила мнению высшего кавказского начальства. Поэтому необходимо было получить подтверждение позиции высшего кавказского начальства.

Главноначальствующему гражданской частью на Кавказе предлагалось сообщить окончательное заключение о том, каким сословиям из числа признаваемых почетными среди горского населения Терской и Кубанской областей следовало бы предоставить российское дворянство.

Главноначальствующий гражданской частью на Кавказе, генерал-адъютант князь Голицин отошел от линии, проводимой его предшественниками. Статус потомственного российского дворянства кн. Голицин предлагал закрепить лишь за титулованными родами. К таковым он относил: кабардинских пши с видом его тума; кумыкских биев с видом его чанка; брагуновских эли; адыгских пши с видом его тума; ногайских султанов. Относительно других категорий высших сословий, установленных комиссией, кн. Голицин высказался за дарование им звания почетных граждан, кроме уорков (беслан-уорк и уорк-шаутлугус), которым следовало присвоить права сельского состояния наравне с остальным населением Северного Кавказа [4].

Министр юстиции Муравьев, ознакомившись с проектом кн. Голицина, высказался категорически против его предложений. Находя представленный проект невыдержанным, Муравьев обрушился с критикой на предложенную градацию высших сословий Северного Кавказа. Этот проект, по мнению Муравьева, не отвечал ни интересам привилегированных сословий, ни интересам правительства.

В мае 1901 года Г.С. Голицин вновь представил министру юстиции Н.В. Муравьеву свой вариант проекта решения проблемы. Учитывая сложившуюся в мировой политике практику, он признавал «неудобным отказывать в этой привилегии потомкам владельцев туземных народов Кавказа, даже в том случае, если последние, по уровню своего развития и по заслугам перед нашим правительством, не выделяются вовсе» [5]. Кроме них, на статус потомственных дворян могли претендовать лица, заслужившие это достоинство, отмеченные чинами и орденами.

К категории личных дворян, а также потомственных и личных почетных граждан он предлагал отнести только тех лиц, которые добились этого чинами и орденами на службе, подходящими по образовательному цензу и по закону.

В своем проекте кн. Голицин высказал два предположения. Первое – это необходимость рассмотрения вопроса о предоставлении прав российского дворянства не отдельно по регионам, как это было раньше, а по всему Кавказу в целом. Второе – возложить разбор этого дела на департамент герольдии, как орган, располагающий в этом отношении «громадным вековым опытом, обширным материалом и широким просвещенным и твердо установившимся взглядом».

Первое предложение Г.С. Голицина было поддержано, а второе отклонено высшими государственными органами. Тем самым вопрос идентификации традиционной элиты кабардинцев рассматривался уже шире, в рамках всего Кавказа. В связи с этим шансы привилегированных сословий кабардинцев на успешное разрешение дела оказались ничтожно малы.

Рассмотрение сословного вопроса с позиции одновременного решения во всех частях Кавказа ничуть не ускорило продвижение дела. Министр юстиции И.В. Муравьев находил возможным еще более сократить круг претендентов на российское дворянское достоинство, хотя по политическим соображениям не настаивал на этом [6]. По-видимому, И.В. Муравьев опасался того, что лишение значительной массы претендентов шансов на получение прав российского дворянства могло привести к серьезным волнениям.

Министр внутренних дел В.К. Плеве категорически отверг проект, предложенный кн. Голицыным, считая его несоответствующим исторически сложившемуся подходу правительства к сословному вопросу горцев [7]. Его поддержал и член Государственного совета Павлов, который, характеризуя проект Г.С. Голицина, писал: «Я не могу согласиться в принципе с решением, к которому он приходит, и опасаясь, чтобы решение это – основанное на совершенно произвольных толкованиях, не истекающих ни из исторической жизни этих народов, ни из характера отношений к ним русской власти в течении векового периода, предшествовавшего вступлению князя Голицина в управление Кавказом – не привело к такому результату, что нам придется вновь завоевывать оружием мусульманское население Кавказа» [8].

О дальнейшем ходе дела мы узнаем из переписки директора первого департамента Министерства юстиции с главным управлением казачьих войск, где сообщается, что дело было вынесено 4 августа 1904 г. на рассмотрение Государственного совета. Однако дело не было рассмотрено и в связи с восстановлением наместничества на Кавказе было возвращено 17 марта 1905 г. новому министру юстиции Манухину для дополнительных сношений с высшей кавказской администрацией. В своем письме от 29 ноября 1907 г. директор первого департамента Министерства юстиции констатировал: «Ныне генерал-адъютант граф Воронцов-Дашков сообщил министру юстиции свое заключение по изъясненному вопросу, но высказанные им по настоящему делу предложения вызывают серьезные возражения, и таким образом переписка относительно вышеозначенных предложений не может еще считаться завершенной» [9].

Рассматривая сословный вопрос на Кавказе, Воронцов-Дашков, естественно, не мог не учитывать сложную внутривнутриполитическую обстановку в самой России. «Вопрос о сословных правах мусульман, – отмечает он, – затрагивает значительную часть населения Кавказа, и разрешение его в ту или иную сторону окажет влияние на потрясение и более того уже сильно взволнованного края» [10].

В одном из писем к министру юстиции И.Г. Щегловитову граф Воронцов-Дашков обращает внимание на то, что привилегированные сословия на Кавказе уже пользуются основными правами высшего сословия и причисление лиц этого сословия к почетным гражданам или крестьянам равносильно лишению дворянства, что вызовет взрыв негодования среди мусульманского населения Кавказа, а возможно, и всей России [11]. Поэтому он считал необходимым проводить более гибкую политику по отношению к мусульманскому населению Кавказа. «Среди более культурных слоев мусульманства начинают развиваться идеи национального самосознания. С этим явлением нельзя не считаться. Нельзя оставлять мусульман без наблюдения за их экономической жизнью и игнорировать их потребности» [12], – отмечает граф Н.Н. Воронцов-Дашков в своей записке по управлению кавказским краем. В связи с этим предоставление прав российского дворянства привилегированным сословиям на Кавказе он считал оправданным шагом.

Однако министр юстиции И.Г. Щегловитов не разделял точку зрения Воронцова-Дашкова. Высказанные им предложения полностью совпадали с позицией бывшего министра юстиции Н.В. Муравьева, в связи с чем 10 марта 1908 г. дело было снова передано в наместничество [13].

В январе 1913 г. Н.Н. Воронцов-Дашков, используя в качестве повода трехсотлетие дома Романовых, обратился с ходатайством к председателю Совета министров о предоставлении прав дворянства привилегированным сословиям Кавказа и права приобретать земельные участки при содействии Государственного крестьянского поземельного банка, т.к. «высшее мусульманское сословие по условиям своего быта приближается к крестьянскому населению» [14].

Совет министров отклонил это ходатайство, как требовавшее законодательного решения, а потому не подлежащее удовлетворению [15].

Параллельно депутация кабардинского народа, присланная для принесения поздравления императору, подала памятную записку военному министру, в которой заключалась просьба уведомить их о результатах рассмотрения сословного вопроса. К памятной записке прилагалось брошюра, составленная хорунжим Оренбургского казачьего войска П.Л. Юдиным «Верность кабардинского народа Русскому престолу в эпоху смутного времени» [16]. В этой брошюре, составленной на основе архивных документов Министерства иностранных дел, «красной нитью» проводится мысль о добровольном присоединении Кабарды к России; тем самым отвергалось положение о покорении кабардинцев силой оружия. Тем не менее, и эта попытка депутатов от кабардинского народа разрешить сословный вопрос в свою пользу оказалась неудачной.

Очередная неудача не смутила высшую кавказскую администрацию. В 1914 году она приняла меры по созданию Общества взаимопомощи высшего мусульманского сословия до законодательного разрешения ему открыть свою сословную организацию и организовала в Елисоветпольской губернии обсуждение проекта его устава [17].

Последний проект кавказская администрация представила в ноябре 1916 года. В этом проекте администрация последовательно отстаивала право привилегированных сословий на получение российского дворянства. Однако и этот проект был отклонен.

После октябрьского переворота и последовавшего декрета от 10 ноября 1917 года о ликвидации сословий вопрос о предоставлении российского дворянства привилегированным сословиям кабардинцев автоматически отпал.

Исследование проблемы идентификации правового статуса традиционной элиты Кабарды во второй половине XIX–начале XX вв. позволяет сделать ряд выводов.

Либеральные реформы 60-х годов XIX века явились мощным катализатором трансформации традиционной элиты Кабарды. Специфика времени потребовала от традиционной элиты социальной адаптации в новых исторических условиях. Это привело к усилению противоречий как с другими слоями населения, так и в отношениях с государственной властью.

Правительство, добивавшееся политико-административной интеграции Российской империи с Северо-Кавказским регионом, стремилось унифицировать социальную структуру кабардинского общества в соответствии с российской. При этих обстоятельствах для княжеско-дворянских сословий Кабарды большое значение приобрел вопрос об идентификации их статуса в рамках общероссийской социальной структуры.

Отсутствие у российского правительства четкой социальной программы выразилось в противоречивости государственной политики по отношению к высшим сословиям Кабарды, что, в свою очередь, затянуло вопрос о предоставлении им прав российского дворянства.

В условиях российской модернизации и перехода к открытому типу общества надежды кабардинских феодалов на инкорпорирование в российское дворянство оказались тщетными. К началу XX века в правительственных кругах окончательно утвердилось мнение, направленное на ограничение доступа в российское дворянство.

Лишенная возможности искать поддержки своего привилегированного положения в рамках российского законодательства, традиционная элита апеллировала к обычному праву, которое в деформированном виде все же не утратило сословного характера. Полиюридизм в Кабарде обеспечил двойственность правового положения княжеско-дворянских сословий. Неоднозначность правового статуса в итоге не позволила традиционной элите организационно оформиться для отстаивания своих корпоративных интересов. В значительной степени консолида-

ции местной элиты помешала внутрисословная борьба, связанная с проблемой лидерства в кабардинском обществе. Настороженное отношение местной власти, с опаской наблюдавшей за формированием национального блока, также не способствовало процессу единения.

Попытки традиционной элиты превратить Съезд доверенных сельских обществ Большой и Малой Кабарды и пяти горских обществ в своеобразное Дворянское собрание, а также усилия, приложенные к расширению полномочий этого органа, встретили серьезное противодействие администрации. Таким образом, царское правительство лишило традиционную элиту Кабарды права не только на общероссийскую, но и на местную корпоративную организацию.

Отсутствие единой корпоративной организации существенно ограничило возможности традиционной элиты в отстаивании сословных интересов. Это обстоятельство отрицательно сказалось и на роли княжеско-дворянских сословий в общественно-политической системе Кабарды. В первую очередь, это выразилось в ликвидации института аульных владельцев и учреждении новой должности – старшина селения. Несмотря на предпочтение, оказываемое властями традиционной элите при назначении на должность сельского старшины, она все же была лишена эксклюзивного права замещения этой вакансии. Таким образом, доступ в низшее звено управленческого аппарата оказался открыт и для других слоев населения. С предоставлением в 1906 году права избирать старшину селения на сельском сходе конкуренция со стороны сельской буржуазии еще больше усилилась.

Тем не менее, княжеско-дворянские сословия все еще пользовались большим влиянием в обществе. Этому способствовало представительство традиционной элиты не только в низовых административных единицах, но и в государственных органах участкового и окружного уровня. Следует отметить, что наряду с гражданской службой в кругах местной знати была популярна и военная служба. По существу, государственная служба являлась одним из каналов трансформации традиционной элиты Кабарды. Из среды чиновников и военных фактически формировалась национальная интеллигенция.

Подводя итог исследованию статуса традиционной элиты Кабарды, необходимо указать на значительную социальную деформацию, которой она подверглась во второй половине XIX–начале XX вв.

Отсутствие должной государственной поддержки в условиях либерализации общественных отношений привело к нивелированию социального статуса княжеско-дворянских сословий. В первую очередь, следует сказать о разрушении внутренней иерархической структуры традиционной элиты. Причисление князей и дворян к разряду сельских обывателей уравнило их права не только между собой, но и с крестьянами. И лишь благодаря традиционному для кабардинцев почитанию знатных фамилий номинально сохранилась граница между сословиями.

Второе обстоятельство, отрицательно сказавшееся на сохранении первенствующего положения традиционной элиты, заключалось в сокращении ее удельного веса в обществе. Можно выделить несколько причин, объясняющих это явление. Во-первых, ликвидация феодальных отношений привела к тому, что пополнить ряды дворянства за счет рекрутирования представителей других социальных категорий оказалось невозможным. Во-вторых, удельный вес традиционной элиты сократился в результате миграционных процессов (переселение в Турцию и другие страны). В-третьих, происходит «социальная диффузия» традиционной элиты. Разорившаяся часть растворялась в крестьянской массе, другие становились чиновниками, военными, предпринимателями и т.д. По нашим подсчетам, удельный вес княжеско-дворянских сословий в начале XX века уменьшился в десять раз, составив 0,2 % от общего числа населения Кабарды.

Третий момент связан с тем, что трансформация традиционной элиты проходила в разных направлениях, в связи с чем и интересы одной части традиционной элиты не отвечали интересам другой части. Это обстоятельство привело к обострению противоречий в ее среде, что серьезно ослабляло традиционную элиту.

Княжеско-дворянские сословия не смогли выдвинуть какую-либо программу, направленную на сохранение целостности традиционной элиты. И даже при решении жизненно важных,

судьбоносных вопросов (к примеру, наделение земель или предоставление прав российского дворянства) она не имела жесткой позиции, в результате чего традиционная элита не могла играть роль первенствующего сословия в обществе.

Библиография

1. Кудашев В.Н. Исторические сведения о кабардинском народе. – Нальчик: Эльбрус, 1991. – С. 118.
2. Линден В. Высшие классы коренного населения Кавказского края и правительственные мероприятия по определению их сословных прав. – Тифлис, 1917. – С. 86.
3. Кудашев В.Н. Исторические сведения... – С. 128.
4. Линден В. Высшие классы коренного населения... – С. 88.
5. РГВИА. – Ф. 330. – Оп. 46. – Д. 1095. – Л. 135.
6. РГИА. – Ф. 1283. – Оп. 1. – Д. 187. – Л. 39–41.
7. РГИА. – Ф. 1283. – Оп. 1. – Д. 187. – Л. 179.
8. ЦГИА Грузии. – Ф. 12. – Оп. 1. – Д. 2752. – Л. 112.
9. РГВИА. Ф.330. – Оп. 46. – Д. 1095. – Л. 229.
10. ЦГИА Грузии. – Ф. 13. – Оп. 1. – Д. 738. – Л. 1.
11. ЦГИА Грузии. – Ф. 13. – Оп. 1. – Д. 738. – Л. 2.
12. Всеподданнейшая записка по управлению Кавказским краем генерал-адъютанта, графа Воронцова-Дашкова. – СПб., 1907. – С. 11.
13. РГИА. – Ф. 1276. – Оп. 3. – Д. 93. – Л. 7.
14. ЦГИА Грузии. – Ф. 13. – Оп. 22. – Д. 374. – Л. 1.
15. Линден В. Высшие классы коренного населения... – С. 202.
16. РГВИА. – Ф. 330. – Оп. 46. – Д. 1095. – Л. 238.
17. Мамедов Э.С. Царизм и высшие мусульманские сословия Закавказья. (Проблема сословно-земельных отношений. Начало XIX века–1917 г.): дис. ... канд. ист. наук. – Баку, 1987. – С. 170.

НАУЧНОЕ ИЗДАНИЕ

**ИЗВЕСТИЯ КАБАРДИНО-БАЛКАРСКОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА**

**PROCEEDING OF THE KABARDINO-BALKARIAN
STATE UNIVERSITY AFTER H.M. BERBEKOV**

№ 1

2010

Редакторы *Т.П. Ханиева, Л.З. Кулова*
Компьютерная верстка *Е.Л. Шериевой*
Корректор *Е.А. Балова*

В печать 21.12.2010. Формат 60х84 ¹/₈.
Печать трафаретная. Бумага офсетная. 28.83 усл.п.л. 29.0 уч.-изд.л.
Тираж 1000 экз. Заказ № 6160
Кабардино-Балкарский государственный университет.
360004, г. Нальчик, ул. Чернышевского, 173

Полиграфический участок ИПЦ КБГУ
360004, г. Нальчик, ул. Чернышевского, 173.

ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЕЙ

Для публикации в журнале «Известия Кабардино-Балкарского государственного университета» принимаются статьи на русском или английском языке, содержащие результаты актуальных фундаментальных и прикладных исследований, научных и научно-методических работ.

В редакцию представляются:

- 1 экземпляр статьи на бумажном носителе и электронный вариант (на диске (дискете); на наклейке диска (дискеты) указываются фамилия первого автора и название статьи);
- сопроводительное письмо на бланке учреждения, в котором выполнена работа;
- внешняя рецензия;
- акт экспертизы о возможности опубликования в открытой печати;
- реферат на русском и английском языках, включая индекс УДК, ФИО автора, название статьи и ключевые слова;
- сведения об авторах: фамилия, имя, отчество; место работы (название кафедры и вуза), должность, ученые степень и звание; служебный и домашний адреса, контактные телефоны, адреса электронной почты (для мобильной связи).

Статья должна быть подписана всеми авторами.

Статья должна содержать следующие разделы: цель исследования; результаты исследования; выводы; библиография.

Библиография оформляется в соответствии с ГОСТ 7.05–2008 «Библиографическая ссылка. Общие требования и правила оформления». В библиографическом списке нумерация источников должна соответствовать очередности ссылок на них в тексте. Номер источника указывается в квадратных скобках. Автоматическая нумерация ссылок не допускается.

Правила оформления текста статьи

- объем статьи – в пределах 15 машинописных страниц формата А4, через 1,5 интервала; размер шрифта – 14 пт;
 - поля страницы: слева – 3 см, справа – 1 см, сверху – 2,0 см, снизу – 2,5 см;
 - иллюстрации к статье (рисунки, фотографии) должны быть черно-белыми, четкими (разрешением не менее 300 dpi, расширение *.jpg.) вставляются в текст; обычный размер иллюстраций не более половины листа А4;
 - таблицы вставляются в текст.
- Тип файла в электронном виде – RTF.

При несоблюдении указанных правил редакция оставляет за собой право не публиковать статью.

Все статьи рецензируются. По результатам рецензирования редколлегия принимает решение о целесообразности опубликования материала.

Не принятые к печати статьи редакцией не возвращаются.